

ANALÓGIÁK A FIZIKATANÍTÁSBAN

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

Csernovszky Zoltán

Témavezető: dr. Horváth Ákos

ELTE TTK

Fizika Doktori Iskola

Vezető: Dr. Tél Tamás

Fizika Tanítása Program

Vezető: Dr. Tél Tamás



2018

TARTALOM

Bevezető.....	3
Analógiák a napelemek tanításában.....	4
Napelemek a fizikaérettségin	4
Napelemek-történeti áttekintés	6
Organikus napelem-cella felépítése.....	7
Középiskolai projektek.....	9
1. Elektron-ciklusok egységes tagolása napenergia-átalakító rendszerekben...11	
1.1. Egy organikus napelem, a málnás napelem-cella elektron-ciklusa	11
1.2. Egy-p-n-átmenetes napelem-cella elektron-ciklusa.....	15
1.3. Fotoszintézis fényszakaszának elektron-ciklusa.....	18
1.4. Foton-elektron kölcsönhatások egységes leírása.....	21
2. Napelemek és fotoszintézis analóg tanítása új típusú energia-diagrammal...23	
2.1. Organikus és hagyományos napelem tanítása új típusú energia-diagrammal..	25
2.2. A fotoszintézis fényciklusának tanítása új típusú energia diagrammal.....	28
3. Organikus színezékek fényelnyelő tulajdonságai.....32	
3.1. Gyümölcs és klorofill-kivonatok fényelnyelésének vizsgálata.....	33
3.2. Szín, komplementer szín, látott szín.....	34
4. Napelem-cellák tesztelése áramkörben.....37	
4.1. Maximális teljesítmény.....	38
4.2. Organikus napelemek, mint feszültségforrások.....	40
Összegzés.....	43
Inga és iránytűmozgás analóg leírása különböző erőterekben.....44	
Bevezető.....	44
5. Inga-iránytű analógiák.....46	
5.1. Inga és iránytű csillapítatlan mozgásai homogén térben.....	47
5.2. A mozgásegyenletek dimenziótlanítása	52
5.3. Iránytű csillapítatlan mozgásai forgó mágneses térben.....	53
5.4. Iránytű csillapítatlan mozgásai összetett mágneses térben	55
6. Iránytű kaotikus mozgása.....57	
6.1. Iránytű csillapított rezgései összetett mágneses térben	58
6.2. Lehetséges alkalmazások a fizikatanításban.....	62
Összegzés.....	63

7. A fizikatanításban felhasználható digitális tartalmak fejlesztése.....	65
Bevezető.....	65
7.1. Tananyag-tervezés, szövegek és jegyzetek	66
7.2. Fő- és gyakorló feladatok.....	69
7.3. Animációk, videók, képregény, projektek.....	71
7.4. Projekt szintű komplex feladatok.....	74
Összegzés	76
Összegzés	77
Köszönetnyilvánítás.....	78
Irodalom.....	79
Függelékek.....	82
F.1. A málnás napelem-cella építése.....	82
F2. 1. fejezet (Tananyagnévjegy, Szöveg, Jegyzet, Feladatok).....	87
F.3. 2. fejezet (Tananyagnévjegy, Szöveg, Jegyzet, Feladatok).....	94
F.4. Komplex projekt-szintű feladatok.....	99
F.5. Adatlap a doktori értekezés nyilvánosságra hozatalához	107

Bevezető

Napjainkban a társadalmi és technológiai kölcsönhatások következtében a fizikatanítás új kihívásokkal szembesül. Az ismeretszerzés demokratizálódása, a kreatív és rugalmas munkavállaló iránti társadalmi igény szinte kiköveteli az új típusú tevékenységi és együttműködési formák megjelenését az iskolában is, mind a tanár-diák, mind a diák-diák viszonylatban,

Az általam ismert új típusú tevékenységi és együttműködési formák mind az ismeretszerzés térbeli és időbeli hangsúlyeltolódásán alapulnak, legyen szó komplex projekt-munkáról, fizikatóri tevékenységről, bemutatóra készülésről, mérési adatok gyűjtéséről, azok feldolgozásáról vagy akár szövegértési feladatról.

A tudományos információ-robbanás kevés időt hagy a fizikatanításnak az új ismeretek mély és alapos megismerésére, fontosságuk eldöntésére és rendszerszintű beépítésükre. A kiválasztott tartalmak és ismeretek feldolgozása, ezek tartalommal megtöltése joggal igényli a fentiekben említett új típusú tevékenységi formákat, amelyek során a diákok közelebb kerülhetnek a tudományos kutatáshoz, a tudományos módszer lényegéhez, ezzel stabilabbá és színesebbé válhat világképük, önállóbbá és magabiztosabbá értékítéletük és gondolkodásuk.

Napjainkban az áltudományok térhódításának lehetünk szemtanúi. Úgy tűnik a természettudományos alapismeretek, a modern tudományos módszer megkérdőjelezése a descartes-i racionalizmus elvetését fejezi ki. A középiskolai fizikatanítás lehetőségeinek és eszközeinek számbavételével, ezek fejlesztésével és erőforrásainak racionális felhasználásával van lehetősége e tendenciák visszaszorítására. Fontos kialakítani az igényt és a módszert az új információk, eredmények valóságtartalmának, tudományos értékének eldöntésére. A fizikatanításnak a tudományos gondolkodásmód alapjainak megismertetésében, a tudományos módszer gyakorlásában, annak tudatosításában, a tudományos világkép elsajátított elemeinek rendszerré szervezésében fontos szerepet kell játszania.

A felnövekvő nemzedék új szemléletű és digitális eszközökön is elérhető tananyag igényének megoldása alapvető kihívást jelent az élet minden területén. Ennek az igénynek a fizikatanításra gyakorolt hatása a jelenségek rögzítésére, a kísérletezésre és a modellalkotásra használt eszközök elterjedése. A kísérletezés során felhasználható digitális eszközök széles skálán mozognak, kezdve a kísérletek rögzítésétől (fényképek, sorozatképek, videók), azok elemzésén át (függvényábrázoló, iterációs, video-analizáló szoftverek) egészen az adatrögzítésig (mikrokontrollerek, szenzorok).

Ezen eszközök megismerése, az eszközök bemutatása hagyományos vagy új fizika tantárgyi környezetben igazi kihívást jelent a fizikatanításban. Ha ez a tantárgyi tevékenység még új típusú tevékenységi forma során alkalmazva jelenik meg az ígéretes kitörési pontokat is jelenthet. E kettő egymást támogatva, tanári közvetítéssel és segítséggel juthat el a diákokhoz, akiktől aktív közreműködést, sok munkát és erőfeszítést igényel a várt a siker, a megértés reményében.

Analógiák a napelemek tanításában

Napelemek a fizikaérettségin

Használ-e napelemeket a középfokú fizikatanítás? Vajon megérthető-e egy napelem működése az érettségi témakörök segítségével? Készíthetünk-e napelemet mi magunk? Ha igen, mire használhatjuk a fizikaórán? Ezekkel a kérdésekkel foglalkozunk a Bevezetőben.

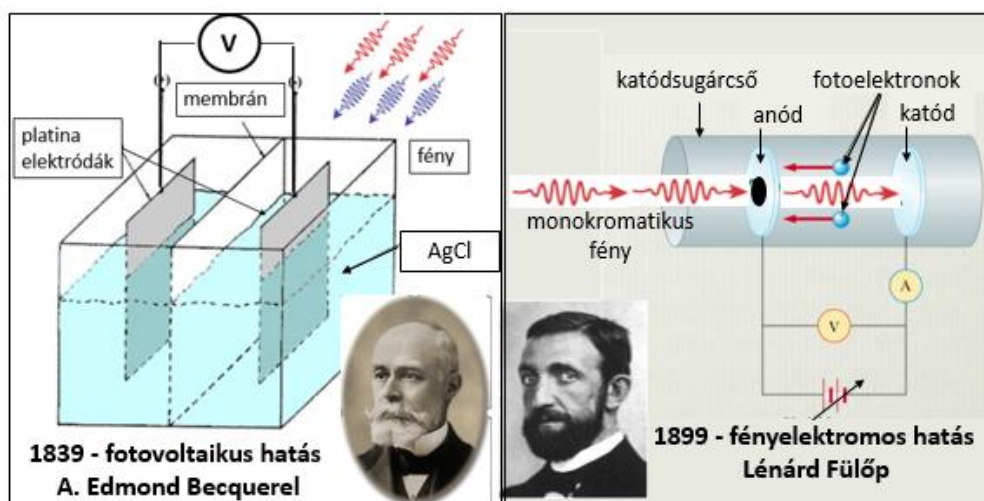
A napelemmel, mint félvezető eszközzel a Fizika követelményrendszerben találkozhatunk. Ezen kívül az emelt szintű szóbeli fizikaérettségin, mint áramforrást kell tesztelni egy napelemet [24] [25]. Ez a 20. mérési feladat (1. ábra) [26]. Tulajdonképpen ez a mérési feladat adta az ötletet, hogy körüljárjuk a napelemek kérdéskörét részletesebben.



1. ábra

Napelem tesztelése, emelt szint, 20. mérés

A napelemek célja a napenergia elektromos energiává alakítása. Ezen átalakítás elméleti háttere a fotovoltaiikus hatás, amelyet Edmond Becquerel, a radioaktivitást felfedező Henri Becquerel édesapja írt le 1839-ben. Napfény hatására elektromos feszültséget mért két ezüst-klorid oldatba merülő platina-elektroda között [6]. A jelenség nem szerepel a Fizika tantárgyi követelményrendszerben, de rokon jelenség, a fényelektromos-hatás igen. A fényelektromos-hatás leírásához használt foton-fotoelektron kölcsönhatást leíró egyenlethez az energiakvantumot, a kvantált energiaszinteket és a foton fogalmát is ismerni kell. (2. ábra).



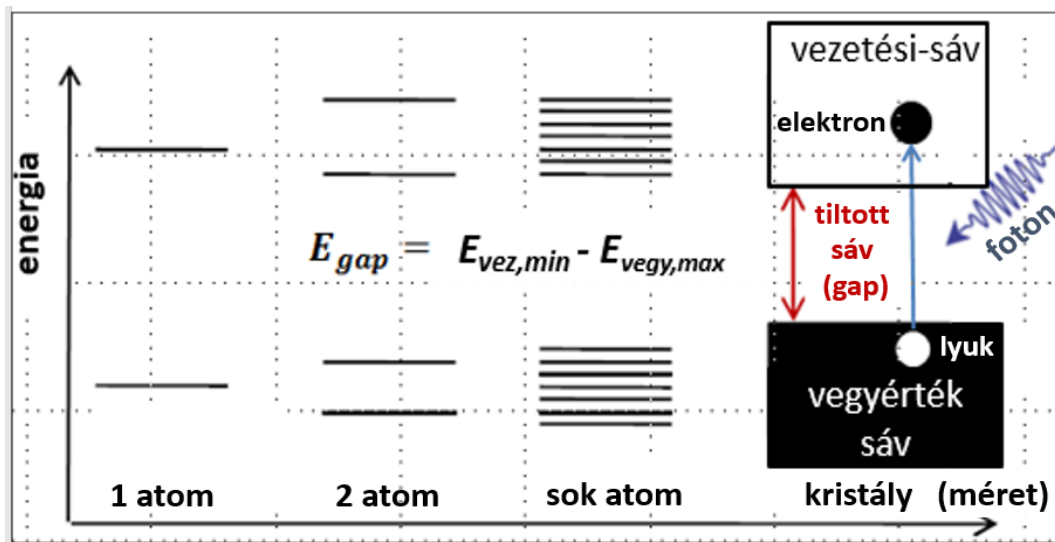
2. ábra

A fotovoltaiikus és a fényelektromos hatás

Félvezetők nélkül nincs napelem. A követelményrendszer szerint ismerni kell a félvezetők fogalmát, az n- és p-típusú félvezetők felépítését, példát kell tudni mondani félvezető eszközök gyakorlati alkalmazására. Itt található a napelem, a dióda, a tranzisztor és a memóriachip társaságában.

A követelmény-rendszer szerint ismerni kell az alap- és gerjesztett állapot fogalmát. Az atomok által elnyelt és kibocsátott fotonokkal kapcsolatban pedig számításokat is kell tudni végezni.

A fenti követelmények összekapcsolhatók és ahogy azt a 3. ábra mutatja, a periodikus atomi struktúrára utalva a vegyértéksáv, a vezetési sáv, valamint a tiltott sáv fogalma és használatuk a középiskolai fizika szakkörökön és projektekben elérhető közelségbe kerülhet. A napelemek működésének megértéséhez szükséges félvezetők energiasáv-szerkezet középiskolai bevezetésére és használatára lásd még [29] [30].



3.ábra

Félvezetők sáv szerkezetének kialakulása

A vízszintes tengelyen a rendszer mérete, a függőleges tengelyen az energiaszintek illetve az energiasávok láthatók. Az ábra utolsó oszlopában a tiltott sáv és a foton-elnyelés hatására létrejövő elektron-lyuk pár látható.

Az alábbiakban n-típusú félvezetőnek nevezzük azt a félvezetőt, amelyekben a többségi töltéshordozók az elektronok: $I_{\text{elektronok}} \gg I_{\text{lyukak}}$, és p-típusúnak, amelyekben a többségi töltéshordozók a lyukak: $I_{\text{lyukak}} \gg I_{\text{elektronok}}$.

Napelemek – történeti áttekintés

A napenergia átalakításának alacsony hatásfoka miatt az első napelemeket csak a 20. század második felében kezdik használni az űrkutatásban energiaforrásként. A napelemek félvezetőket, elsősorban szilíciumot tartalmaznak, melynek a tiltott sávja 1,1 eV, elég keskeny a jó hatásfok eléréséhez. Ugyanakkor ez a tiltott sáv elég széles már ahhoz, hogy a napelem fotostabil legyen, azaz 20 év használat alatt hatásfoka ne csökkenjen 20%-nál többel. A foton elnyelésével keltett elektron-lyuk pár rekombinációját a p- és n-típusú félvezetők illesztésével nyert elektrosztatikus tér töltésztválasztó hatása akadályozza meg. A kereskedelmi forgalomban kapható napelemek ma is ezen az elven működnek, nevük p-n átmenetes napelemek és szilícium alapúak [27]. A napelemek első generációinak előállítása drága és technológia igényes. Lásd még az 1.4. fejezetet.

A 80-as évektől kezdve olyan a fényre stabilabb, gyakorlatilag hosszabb élettartamú napelemet fejlesztettek ki, amelynek előállítása olcsóbb és kevésbé technológia-igényes volt. Ezekben a napelemekben a napenergia elnyelését a látható tartományban a színezékekben, azaz a pigmentekben található molekulák segítik elő [1]. Jóllehet ezeknek a színezékekkel érzékenyített napelemeknek a maximális hatásfoka jóval alacsonyabb, mint az első generációs napelemeké (12%), azonban működési elvük a napelemek új generációjának nyitott utat.

Ezek legismertebb tagja a perovszkit kristályokat tartalmazó, ma már laboratóriumban 22% hatásfokot is elérő és igen jó foton-energia hasznosítási rátájú napelemek. Mindezek miatt a perovszkit napelemekkel a közeljövőben elképzelhető lesz a drága és technológia-igényes hagyományos napelemek lecserélése néhány felhasználói területen [18].

Az organikus napelemek is a színezékekkel érzékenyített napelemek működési elvét követik. Alacsony előállítási költségűek, dekoratívak és nagy fotovoltikus felületek építhetők felhasználásukkal az alacsony energiaigényű felhasználások számára. A felhasználás első 20 évében az organikus napelemek hatásfoka állandónak tekinthető, olcsóbban előállítható, mint az első generációs napelemek.

Az organikus napelemek legismertebb példája a lausanne-i SwissTech Convention Center Dye Solar Cell homlokzata (4. ábra). A színes, nagy felületű falfelület 25-65°C között állandó hatásfokon működve szolgáltat elektromos energiát. Az elrendezés a beeső fénysugarak beesési szögére kevésbé érzékeny, szórt fényben is működik,

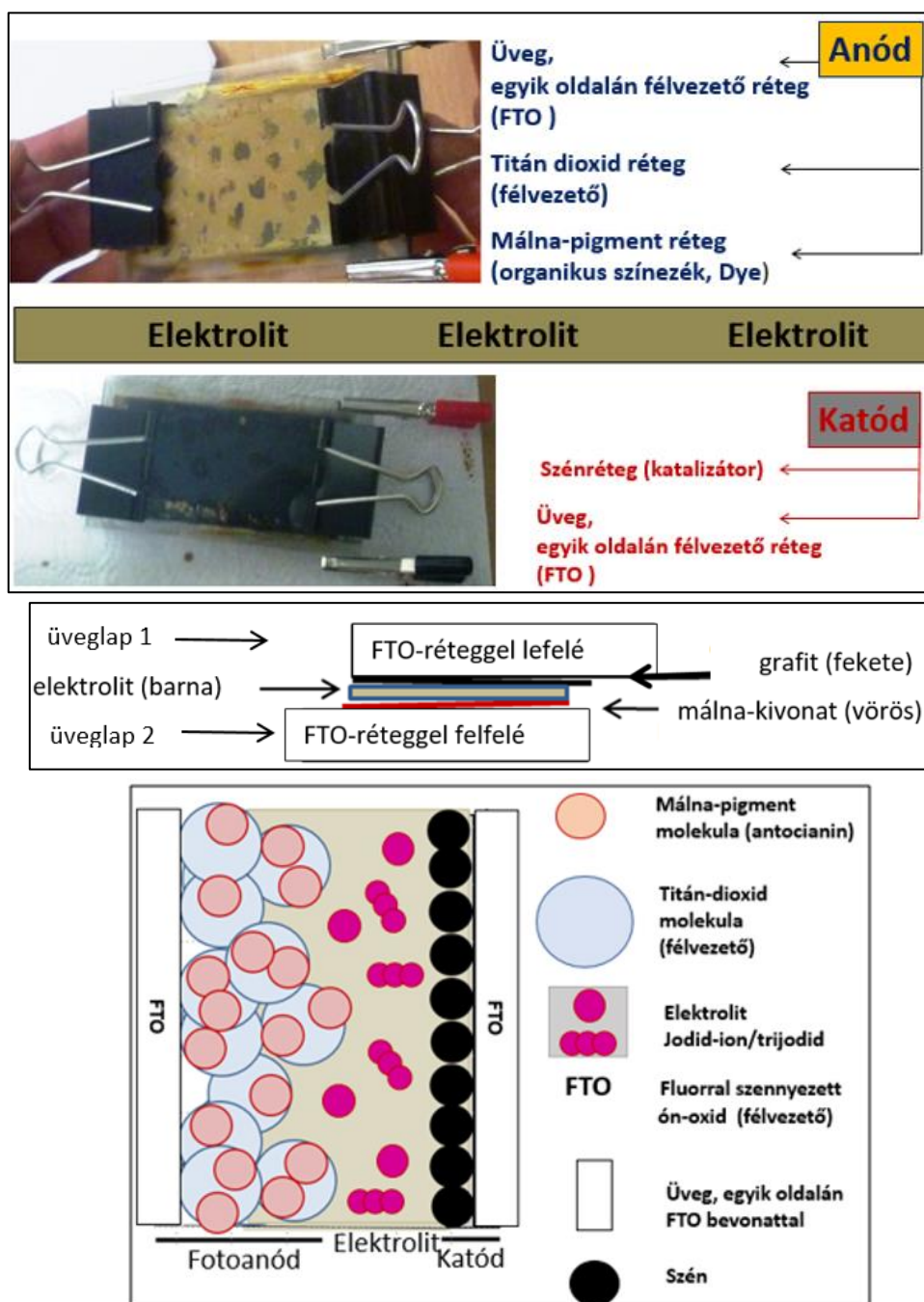


4. ábra A SwissTech Convention Center Dye Solar Cell homlokzata, Lausanne, Svájc

Nem véletlen, hogy az organikus napelemek elterjedését sok területen, így a fizikatanításban is megfigyelhetjük az alapszinttől a felsőszintig [2][3][4][18][19].

Organikus napelem-cella felépítése

Az organikus napelem-cellákat igazán vonzóvá a megépíthetőségük és tesztelhetőségük teszi. [4][5][13][14][15][16][17][18] [19]. Egy saját építésű organikus napelem-cella főbb rétegeit, összeállítását és vázlatát az 5. ábra mutatja. Az itt bemutatott organikus napelem-cella, a málnás napelem-cella tulajdonképpen egy galvánelem. Főbb részei az anód, a katód és az elektrolit [6].



5. ábra Organikus napelem-cella főbb rétegei, összeállítása és vázlata

Az anód részei. A cella lelke az anód vagy fotoanód, amely a hordozó üvegen kívül három egymásra rögzített igen vékony rétegből áll.

Az anód FTO-rétege. Az anód alapja az egyik oldalán félvezető réteggel bevont, a napfény látható tartományára átlátszó üveglap. A félvezető fluórral szennyezett ón-oxid, angolul fluorine doped tin-oxid, ezért a rövidítése FTO-üveg.

Az anód TiO_2 rétege. Erre az első félvezető *FTO*-rétegre egy másik félvezető réteget kell rögzíteni. A pedagógiai alkalmazásokban használatos nano-részecskés struktúrájú réteg a titán-dioxid anatáz módosulata vagy röviden TiO_2 -réteg. Ennek a struktúrájának köszönhetően a réteg effektív felülete akár ezerszerese is lehet az üveglap és az *FTO*-réteg felületének. A TiO_2 -réteg felülete a látható fényre érzéketlen, szivacsoshoz szokták hasonlítani. A réteg szabad elektronokat tartalmaz, széles tiltott sávú (3,2 eV), n-típusú félvezető. Előnyös, hogy a ráeső napfény több, mint 80%-át átengedi. A TiO_2 -réteg azon kívül, hogy az effektív felületet, fontos szerepet játszik a töltés-szétválasztásban. Gerjesztett elektronok diffundálnak majd a TiO_2 -réteg közvetítésével az *FTO*-bevonatos üveghez, majd ezek az elektronok a katód felé mozognak, ha vezetékkel összekötjük az elektródokat. A TiO_2 anatáz módosulata kémiaiilag stabil (450°C-ig), nem mérgező és a bőrön nem áthatoló étel-, festék vagy kozmetikai cikkek színezékeként könnyen beszerezhető.

Az anód fényérzékeny rétege. Ahhoz, hogy a látható fényre érzékeny, de stabil anódot készítsünk, egy harmadik réteget, antocianin molekulákat (lásd 27. ábra) tartalmazó málna- vagy más gyümölcs-kivonatot kell még a TiO_2 -rétegre rögzíteni. E réteggel az elnyelt fotonok spektrumát növeljük meg, olyan fotonok energiáját tudja hasznosítani ezzel a cella, amelyeket a hagyományos napelem-cella nem tud elnyelni. A réteg mono-molekuláris, elektromosan homogén dipól-réteget alkot. A réteg elektromos tere fontos szerepet játszik a töltés-szétválasztásban és az elektronok TiO_2 -rétegre juttatásában.

A katód. Katódnak az anódhoz hasonló *FTO*-réteggel bevont üveglapot érdemes használni, amelyre grafit-réteget kell rögzíteni. Az *FTO*-réteg a külső áramkörön keresztül az anódról a katódra érkező elektronokat vezeti a szénréteghez. A szénrétegnek fényvisszaverő, regeneráló töltéstovábbító és katalizátor funkciói vannak.

Az elektrolit. A két elektróda között egy trijidot és jodid ionokat tartalmazó elektrolit zárja az áramkört, lásd 5. ábra paneleit és [4] [19] [20]. Az organikus napelem-cella működését az 1.1. és 1.2. fejezetekben részletezem.

Középiskolai projektek

A napelemek tanulmányozásának igénye vezetett organikus napelem-cellák építéséhez középiskolai szakkör, illetve projekt keretében. Középiskolai labor-protokoll betartásával, szervezett csoportmunka keretében a diákok saját maguk állították elő azokat a napelem-cellákat, amelyeket később a mérési feladat kiírása szerint teszteltek. A projektek során málna, áfonya, szeder és mangó-színezékekkel érzékenyített organikus napelem-cellákat készítettünk, amelyek tulajdonképpen speciális galvánelemek. A fényképekkel illusztrált részletes megépítési útmutatót lásd az *F1. Függelékben*.

A tapasztalatok szerint megéri a fáradságot a laboratóriumi háttér biztosítása, hiszen a kísérleti eszközök előállítása jelentette a diákok önálló kutatómunkájának első lépését. A diákok az előállított eszközöket, azok működését és a mérési eredményeket projektbemutatókon (Budapest, Kölcsey Ferenc Gimnázium, 2016, 2017), illetve az iskolai Fizika-tábor előadásain ismertették (Budapest, Berzsényi Dániel Gimnázium, 2018).

A középiskolás diákokkal végzett kísérleti projektek során saját-készítésű organikus napelemeket és színezékeknek használt pigment-oldatokat teszteltünk. Az adatelemzés középiskolai matematikai eszközökkel történt. A félvezető-bevonatos üvegek kivételével középiskolai szertári eszközöket használtunk, de magashőmérsékletű kemence és spektrofotométer igénybevételéhez egyetemi háttér kellett (*6. ábra és táblázat*).



6. ábra és táblázat

Organikus napelem-cella: eszközök és projekt-résztvevők

Néhány a málnás napelem-cella készítése során használt eszköz (titán-dioxid-por, jód kristályok, kemence. A felhasznált anyagok listáját és a részletes építési lépéseket lásd az *F1. Függelékben*. A 2015. évi málnás napelem-cella projekt résztvevői a budapesti Kölcsey Ferenc Gimnáziumban.

Év	Intézmény	Fő	Tev.forma	Tevékenység	Bemutató
2015	KFG, ELTE	5	projekt	építés, elektromos teszt	TPI-15, MPTL-15
2016	KFG	4	projekt	színezékek tesztje	KFG projektbemutató
2017	KFG	4	projekt	építés, elektromos teszt, színezékek tesztje	Fizikatanári Ankét, Gödöllő
2018	BDG, ELTE	4(2)	projekt	építés, elektromos teszt, színezékek tesztje	EJP cikk, EJP videoabsztrakt
2018	BDG	4	projekt	színezékek tesztje	BDG Fizikatór
2018	BDG	8(4)	projekt	építés, elektromos teszt	BDG Fizikatór

6.ábra és táblázat *Organikus napelem-cella: projektek és tevékenységek összefoglalása*

TPI = Teaching Physics Innovatively, fizikatanítási konferencia, Budapest

MPTL = Multimedia in Physics Teaching and Learning, fizikatanítási konferencia, München

KFG = budapesti Kölcsey Ferenc Gimnázium, BDG = Berzsenyi Dániel Gimnázium

EJP = European Journal of Physics, szakfolyóirat

A következőkben bemutatott eszközökkel és tevékenységekkel elérhetővé válik a napenergia átalakításának és a színlátás problémájának kísérleti vizsgálata. Az organikus napelem-cellák működésének leírása során használt elektron-ciklus tagolás és az elektron-ciklus energiaszintjeihez igazodó energia-diagram használata kiemeli a különböző típusú napelemek és a fotoszintézis fényszakaszának közös működési elvét.

Ezzel megnyílt az út a középiskolai fizikatanításban az organikus napelemek interdiszciplináris alkalmazása előtt. Értve ez alatt a napelemek működési elvének, azaz a napenergia elektromos árammá alakításának bemutatását egy saját készítésű eszközön. Ezek alapján lehetővé válik a galvánelemek, a hagyományos napelem-cellák és a fotoszintézis fényszakaszának középfokú tanulmányozása is.

1. Elektron-ciklusok egységes tagolása napenergia-átalakító rendszerekben

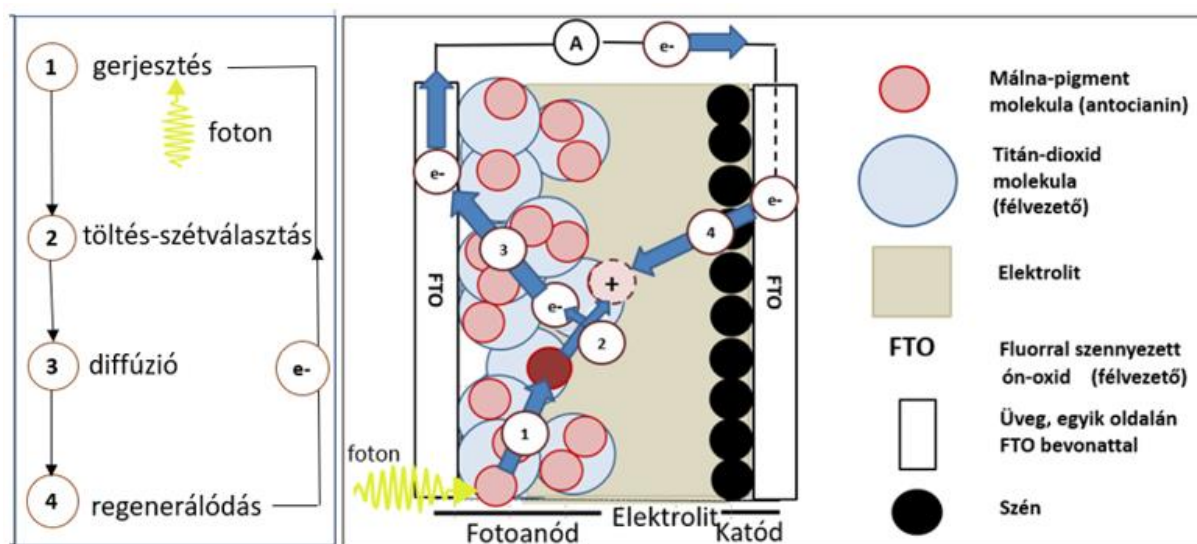
1.1. Egy organikus napelem-cella, a málnás napelem-cella elektron-ciklusa

Az organikus napelem a felépítésének köszönhetően egy galvánelem, az elektródok között még sötétben is mérhető feszültség. Ha az anódot megvilágítjuk, az alap-állapotú málna-pigmentben található antocianin molekula fotont nyel el. Ezután a gerjesztett molekula egy elektront ad át a TiO_2 kristálynak. Emiatt mind a színezék, mind a TiO_2 elektromosan töltött lesz. Lásd 7. ábra paneljein az ① és ② lépéseket.

Ha a két elektródat vezetékekkel összekötjük elektromos áramot mérhetünk, ugyanis az anód FTO-rétegére a TiO_2 rétegről elektronok jutnak át, majd ezek az elektronok az anódról a katódra kerülnek az összekötő vezetéken keresztül. ③ lépés a 7. ábrán. A katódról az elektrolit segítségével jutnak vissza a pozitív töltésű pigment antocianin molekulájára, regenerálva azt. ④ lépés a 7. ábrán. A lépések egyszerűsített reakcióegyenleteit lásd az 1. táblázatban [7] [21].

Az előzőekben ismertetett ismétlődő lépéseket elektron-ciklusnak nevezik, amelyek a napenergia-átalakító rendszerek, azon belül is a napelem-cellák működésének alapja. Ezt több szempontból is az organikus napelem-cellákban követhetjük nyomon a legkönnyebben.

A középiskolai felhasználásra készítettem elő e ciklus egyszerűsített négyes tagolását az ① gerjesztés, ② töltés-szétválasztás, ③ diffúzió, ④ regenerálódás lépésekre. Ezt a célt szolgálja a 7. ábra is, amelyen a négyes tagolás segítségével, a napelem-cella egyes komponensein is jól nyomon követhető az elektron-ciklus.



7. ábra Bal panel: Málnás napelem elektron-ciklusának tagolása

Jobb panel: A málnás napelem-cella felépítése és elektron-ciklusának főbb lépése

- ① A foton gerjeszti az alap-állapotú pigment molekulát
- ② A gerjesztett pigment-molekula elektront ad át a titán-dioxidnak
- ③ A titán-dioxidról átdiffundál az elektron az ón-oxid rétegre
- ④ Az elektrolit és a titán-dioxid molekula több lépésben regenerálódik

Lépés	Málnás napelem	
①	$al\ Pigm + h \cdot \nu \rightarrow ge\ Pigm$	<u>al Pigm</u> = alap állapotú pigment
②	$ge\ Pigm \rightarrow e_{TiO_2,VS}^- + Pigm^+$	<u>ge Pigm</u> = gerjesztett állapotú pigment
③	$e_{TiO_2,VS}^- \rightarrow e_{FTO,VS}^-$	I^- = <u>jodid-ion</u> / I_3^- = <u>tri-jodid</u>
	$e_{TiO_2,VS}^- \rightarrow e_{FTO,VS}^- (anód) \rightarrow külső\ kör \rightarrow e_{FTO,VS}^- (katód) \rightarrow elektrolit$	$e_{TiO_2,VS}^-$ = elektron a TiO_2 vezetési sávjában $e_{FTO,VS}^-$ = elektron az FTO vezetési sávjában
④	Elektrolit: $I_3^- + 2e^- \rightarrow 3I^-$	
	Pigment: $2Pigm^+ + 3I^- \rightarrow 2alPigm + I_3^-$	

1. táblázat.

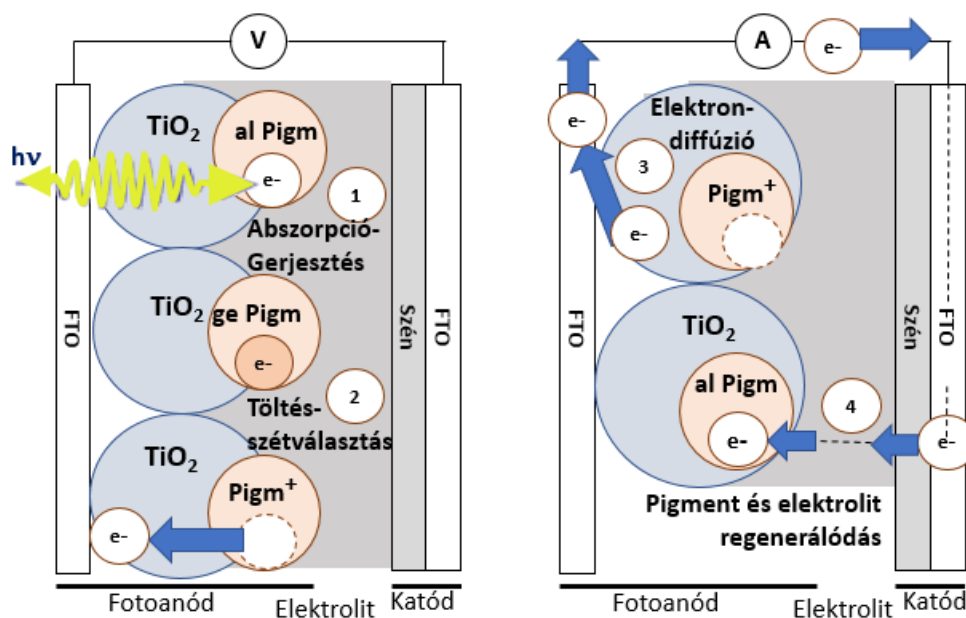
Az elektron-ciklus egyes lépéseinek reakcióegyenletei

A málnás napelem-cella 7. ábrán és 1. táblázatban bemutatott elektron-ciklusának egyszerűsített négyes tagolása részletesebben:

- ① A málna pigment alapállapotú antocianin molekulája fotont nyel el, annak energiája gerjeszti a molekulát.
- ② A gerjesztett antocianin-molekula egy elektront ad át a TiO_2 félvezető vezetési sávjába, így a pigment pozitív-, míg a TiO_2 negatív töltésű lesz. Ezt a töltés-szétválasztó folyamatot a a TiO_2 nano-részecskéinek belső elektromos tere okozza.
- ③ A TiO_2 -ban megjelenő elektron gyengén szennyezett n-típusú félvezetővé teszi a kristályt. A nem-porózus TiO_2 réteg részecskéinek mérete olyan kicsi, hogy az elektron elmozdításához szükséges elektromos tér kiépülését már lehetetlenné teszi. Emiatt az elektron-transzport mechanizmus a TiO_2 -ban a diffúzió lesz.
- ④ **Elektrolit:** Az elektron az anód FTO rétegén és a külső áramkörön áthaladva éri el a katód FTO rétegét. Innen lép át az elektrolitba, ahol reakciója a tri-jodiddal jód-iont eredményez.
Pigment: A pozitív töltésű pigment az elektrolitban most már jelenlévő jód-ion segítségével semlegesítődik. A ciklusban részt vevő elektron a pigment alapállapotú energiaszintjére kerül vissza.

Ezzel a cella készen áll az új elektron-ciklusra. Az organikus napelem-cellában nincs nyoma a lezajlott elektron-ciklusnak, mind az elektrolit, mind a pigment antocianin-molekulája a kiindulási állapotába kerül vissza. A ciklus milliós nagyságrendben valósul meg az iparilag előállított organikus napelem-cellákban. Az elnyelt foton, azaz a fényenergia elektromos áramot eredményez.

A málnás napelem-cella elektron-ciklusában résztvevő elektron mozgását a négyes tagolásnak megfelelően a 8. ábra részletezi. Ez az egyszerűsített négyes tagolás megnyitotta az utat a napelem-cellák működésének középszintű megértéséhez. Figyelembe véve, hogy az organikus napelemek működésében molekula-rétegek (antocianin) és kristály-rétegek (TiO_2 , FTO) is fontos szerepet kapnak, a fotoszintézis fényszakasza is jól nyomon követhető vele.



8.ábra Organikus napelem részletesebb elektron-ciklusa

Bal panel: Elektron-ciklus első két lépése Jobb panel: Elektron-ciklus második két lépése

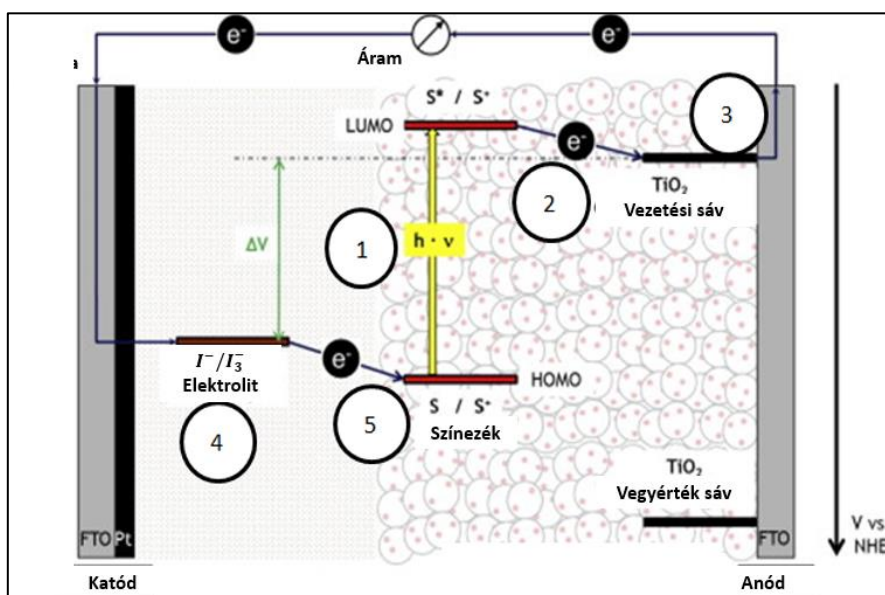
- ① A foton gerjeszti az alap-állapotú pigment molekulát
- ② A gerjesztett pigment-molekula elektront ad át a titán-dioxidnak
- ③ A titán-dioxidban átdiffundál az elektron, majd az ón-oxid rétegre lép át
- ④ Az elektrolit és a pigment molekula több lépésben regenerálódik

Itt szeretném megjegyezni, hogy az 1. és 2. fejezetben használt, a középiskolai fizikatanítás igényei szerint átalakított organikus napelem-cella elektron-ciklus tagolás és energia-diagram ábrázolás nem előzmény nélküli. A szakirodalomban használt megjelenítések azonban túl komplexek a középiskolai, de akár az egyetemi kezdő kurzusok igényeihez képest is.

Álljon itt példának egy tipikusnak mondható, minden tekintetben kifogástalan ábrázolás [6], amely ugyan az eredeti, az organikus napelemek működési mechanizmusát bemutató O'Reagan, Graetzel cikk alapján készült [7], de sok szempontból jobban áttekinthető, egyszerűsített képanyaggal dolgozik már. Azonban ez az egyszerűsített kép is túl bonyolult a középiskolai felhasználáshoz. Lásd 9. ábra.

Elsősorban az okoz problémát, hogy egy ábrán tünteti fel az elektron-ciklus lépéseit és a követni kívánt elektron energiaviszonyait a cella egyes komponensein. Külön problémát okoz a redox-potenciál fogalmának használata, valamint az olyan félvezető-fizikai fogalmak használata, mint a HOMO, a LUMO és a Fermi-szint. Elsősorban az anód rétegei nem jól kivehetőek, emiatt az elektron-ciklus is csak elnagyoltan követhető.

A maximális feszültség értékének szemléltetésével ez az ábrázolásmód, jóllehet több információt hordoz, de az előbb felsorolt szempontok miatt túlmutat a középiskolai fizikaoktatás igényein. Emiatt érdemes a középiskolai alkalmazások során az elektron-ciklusok ábrázolását kettéválasztani: az egyik ábrázoláson az elektron mozgását követjük nyomon a napenergia-átalakító rendszerben, a másik ábrázoláson a rendszer egyes komponensein az elektron energiaszintjeit ábrázolva tesszük meg ugyanezt.



9.ábra Organikus napelem-cella elektron-ciklusát és energiaviszonyait egyben mutató ábrázolás

HOMO = Legmagasabb energiájú betöltött molekula-pálya (pigment)

LUMO = Legalacsonyabb energiájú betöltetlen molekula-pálya (pigment)

S = Pigment alapállapota

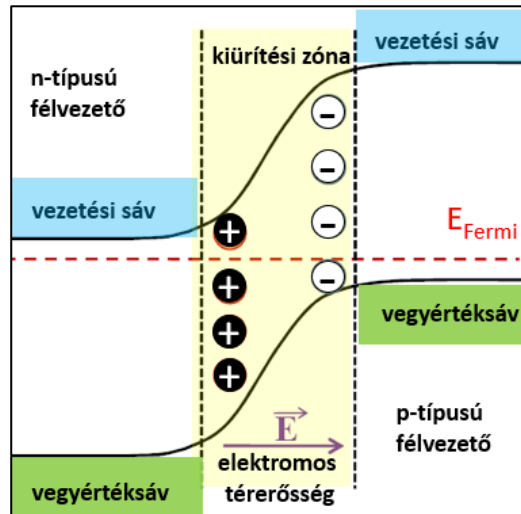
S* = Pigment gerjesztett állapota

ΔV= maximális feszültség (I⁻ / I₃⁻ pár redox potenciálja és a TiO₂ vezetési sávjának Fermi szintje közötti különbség)

①Gerjesztés ②Töltés-szétválasztás ③Diffúzió ④⑤Regenerálódás (elektrolit, TiO₂)

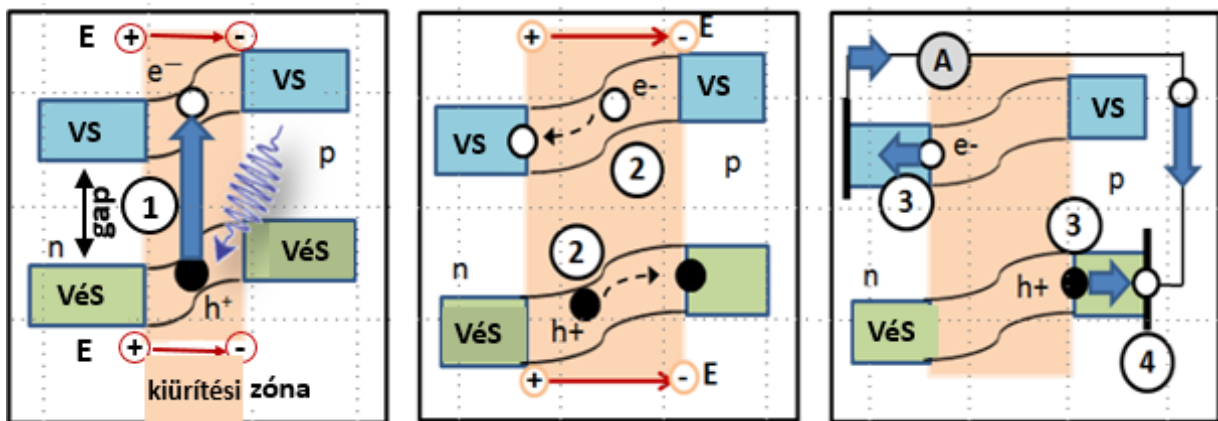
1.2. Hagyományos (egy-p-n-átmenetes) napelem-cella elektronciklusa

A fényenergia elektromos energiává alakításának alapvető példája a hagyományos, egy-p-n-átmenetes napelem-cellák működése. A cella működési elve azon alapszik, hogy a p- és n-típusú félvezetők sávszerkezete az illesztésnél deformálódik, mert a különböző típusú félvezetők illesztésénél elektrosztatikus tér alakul ki (10. ábra), [6] [27]. A kiürítési zóna elektromos tere az elektronok és a lyukak diffúziójának köszönhetően jön létre.



10. ábra Deformálódó sávszerkezet és az elektromos tér kialakulása a p-n átmenet kiürítési zónában

Ebben az illesztésnél kialakuló kiürítésnek nevezett zónában, a foton-abszorpció egy elektron-lyuk pár létrejöttét eredményezi. Energetikailag megfelelő esetben, azaz, ha az elnyelt foton energiája nagyobb a tiltott sávénál, de kisebb a vezetési sáv és a tiltott sáv összegénél, az elektron a vegyértéksávból a vezetési sávba ugrik, a lyuk a vegyértéksávban marad. A keletkező töltéspár mindkét tagja részt vesz az elektromos vezetésben, mert a kiürítési zóna elektromos tere még rekombinációjuk előtt szétválasztja a párt. Miután a keletkező elektron az n-típusú félvezetőre kerül a kiürítési zóna elektromos terének köszönhetően, a külső áramkörön keresztül a p-típusú félvezetőnél fog rekombinálni az elektromos tér miatt ide kerülő lyukkal. Lásd 11. ábra paneljei.



11. ábra

Kiürítési zóna (rózsaszínnel) és az elektron-lyuk-ciklus lépései

Gerjesztés (1), Töltés-szétválasztás (2), Drift (3), Regenerálódás (4)

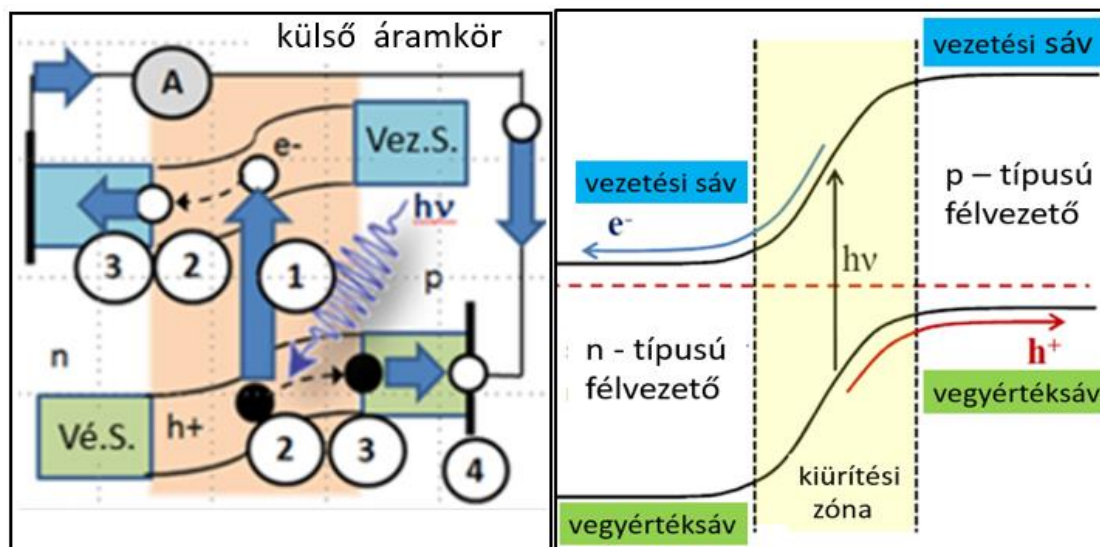
(VS=vezetési sáv; VÉS=vegyérték sáv, h⁺=lyuk; e⁻=elektron; n/p = n/p-típusú félvezető) E = elektromos térerősség. Lásd [5]

Az egy-p-n-átmenetes napelemben a foton-abszorpció keltette elektron hasonló lépéseket követ ciklusa során, mint az organikus napelemekben. Gerjesztést, töltés-szétválasztást, a félvezetők fizikájának terminológiáját követve driftet és regenerálódást. Lásd az elektron-ciklus ábrázolását a 11. ábra paneljein és a 2. táblázat reakció-egyenleteit.

Lépés	egy-p-n átmenetes napelem	$e^- / h^+ =$ elektron/lyuk (KZ)
①	$e_{V_{ES}}^- + h \cdot \nu \rightarrow e_{V_S}^-$	$V_{ES} =$ vegyérték sáv (KZ)
②	$AT \rightarrow e_{V_S}^- + (h_{V_{ES}}^+ - AT)$	KZ = <u>küritési</u> zóna
③	e^- : Küiritési zóna \rightarrow n-típusú FV $_{VS}$	VS = vezetési sáv (KZ)
	h^+ : Küiritési zóna \rightarrow p-típusú FV $_{V_{ES}}$	AT = atom-törzs
④	e^- / h^+ rekombináció: $e_{V_S}^- + h_{V_{ES}}^+ \rightarrow e_{V_{ES}}^- + AT_{V_{ES}}^+$	FV = félvezető
		n / p = n- / p-típusú FV

2. táblázat. Egy-p-n-átmenetes napelem elektron/lyuk ciklusának négy fő lépése,
 ① Gerjesztés ② Töltés-szétválasztás. ③ Drift ④ Regenerálódás

Az eddigiek összefoglalásaként az elektron és a lyuk ciklusának együttes ábrázolása látható a 12. ábra bal panelén. Az ábra jobb panelen egy hagyományosnak mondható ábrázolás látható [6]. Megfigyelhető, hogy az általam készített bal panel az elektron/lyuk –ciklus négylépcsős tagolásán, a külső áramkör feltüntetésén kívül csak az elektron és a lyuk regenerálódásával lett kiegészítve. Mindenesetre jól illeszkedik a 7. ábrával megkezdett, az elektron-ciklust négylépcsős tagolásban ábrázoló koncepcióba, valamint nem áll távol a hagyományosnak mondható ábrázolási módtól sem.



12. ábra Elektron- és lyuk-ciklus a hagyományos (egy-p-n-átmenetes) napelem-cellában
 ① Gerjesztés ② Töltés-szétválasztás. ③ Drift ④ Regenerálódás

Azon kívül, hogy az elektron és a lyuk ciklusára is alkalmazható az organikus napelem-celláknál megismert négyes tagolás, szembeötlő különbségek vannak a kétfajta napelem-ciklusok között. A ③ lépésbeli különbség, az elnevezésükben is megmutatkozik és a két különböző típusú napelem-cella elektromos tereinek különbségéből származik. Az organikus cellák kis szemcseméretű, nano-szerkezetű TiO_2 kristályaiban nem alakul ki olyan, az elektront elmozdítani képes elektromos tér, mint a p-n átmenetes félvezető kiürítési zónájában. Ez az oka

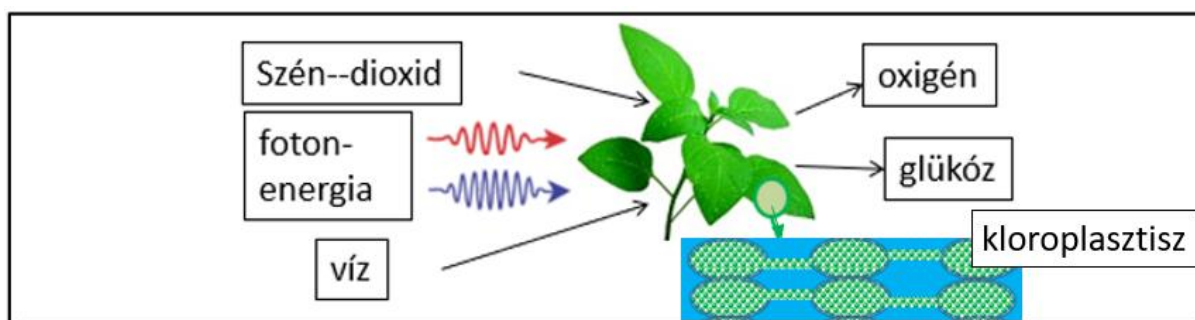
a négyes tagolás ③ lépésének különböző elnevezése: diffúzió az organikus celláknál és drift a p-n-átmenetes celláknál.

Ezen kívül az organikus napelem-cellákban a gerjesztés és a töltés-szétválasztás helyileg máshol zajlik le, a pigmenten, illetve a pigment– TiO_2 páron, ami leegyszerűsíti a ciklus leírását, hiszen az egy-p-n-átmenetes celláknál mindkét lépés ugyanott, a kiürítési zónában zajlik le.

Végül az organikus napelemeknél a töltés-szétválasztás utáni pozitív töltés a pigment antocianin-ionja, a TiO_2 -rétegen rögzül, emiatt csak az elektron mozdulhat el, míg az egy-p-n-átmenetes napelem-cellák esetében a lyuk is elmozdul, a kiürítési zóna elektromos terének köszönhetően, az elektronnal ellenértétes irányban. Mindezek miatt a ciklus jobban lokalizálható az organikus napelem-cellák esetén és az elektron ciklusa jól követhető a cella komponensein, megkönnyítve ezzel a pedagógiai alkalmazásokat és a napelemek témakörének didaktikus felépítését.

1.3. Fotoszintézis fényszakaszának elektron-ciklusa

Olyan makromolekuláris rendszerekben, mint a levelek, a napenergia kémiai energiává alakítását fotoszintézisnek nevezik. A fotoszintézis komplex folyamat, amely helyileg a növény sejtjein belül, a kloroplasztiszban zajlik le. Ez a két fő részből, a fényszakaszból és a Calvin-ciklusból álló komplex reakciósorozat cukrot szintetizál szén-dioxidból és vízből, felhasználva az elnyelt fotonok energiáját, 13. ábra. A fotoszintézis hatásfoka 3-6% között van, globális szinten mintegy 130 terawatt a fotoszintézissel kapott teljesítmény. Ez nagyjából az emberiség szükségleteinek hatszorosa. A fotoszintézis azért is olyan sikeres folyamat, mert az átalakított napenergia glükóz formájában, kémiai energiaként tárolható. A fotoszintézis leegyszerűsített reakció-egyenlete: $6CO_2 + 6H_2O + hv \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$.



13. ábra

A fotoszintézis vázlata

A fotoszintézis első fő részét nevezik fényszakasznak, amely a növényi sejtekben korong alakú struktúrákban, a tilakoidákban és membránjaikban játszódik le, E komplex reakciósorozat során történik meg a fotonok abszorpciója, az energiájuk felhasználásának első szakasza. A fotonokat elnyelő legfontosabb pigmentek a klorofill-molekulák a tilakoidák fotoszisztémáinak részei. A fényszakasz fenntartásához vízre van szükség és e folyamat során szabadul fel az oxigén is.

A folyamat második szakasza, a Calvin-ciklus, melynek során állítja elő a növény a glükózt és köti meg a szén-dioxidot. A kloroplasztiszon belül ez helyileg is máshol, a strómának nevezett egységben zajlik le [8].

Az organikus napelem-celláknál megismert ciklikus működési elv szerint, sok tekintetben hasonló módon állít elő kémiai kötésben tárolt elektrosztatikus energiát az elnyelt fotonok energiájából a fotoszintézis fényszakasza is [28]. A napelem-celláknál az előzőekben látott négyes tagolású elektron-ciklus a fotoszintézis fényszakaszánál is alkalmazható, sok tekintetben jól leírja ezt a bonyolult és összetett reakciósorozatot. Figyelembe véve azt, hogy ez a négyes tagolás kétszer ismétlődik meg a fényszakasz egy ciklusa során, a gerjesztés – töltés -- szétválasztás -- lineáris-elektron-transzport -- regenerálódás lépések közep szinten a modern fizika alapfogalmaival főbb vonalakban leírják a fotoszintézis fényszakaszát.

Azt reméljük, hogy ez a megközelítés kiemeli a fotoszintézis és a napelemek működésének hasonlóságát. A fizikatanítás mindenképpen profitálhat abból, hogy egy a diákok által jól ismert folyamatban, a fotoszintézisben alkalmazhatja az energiakvantum és a kvantált energiaszintek modern fizikai fogalmát. Ez a fizika fogalmi alapokon nyugvó interdiszciplináris megközelítés segítséget nyújthat a fotoszintézis tanításában jelen lévő számos probléma orvoslásában [22]. Lásd még 2.3. fejezet.

A fényszakasz ciklikus működésének részletezését két különböző frekvenciájú, azaz színű foton elnyelését és az elektron-ciklus főbb lépéseit mutatja az 14. ábra és a 3. táblázat. A fényszakasz maga is további két szakaszra bontható, melyek helyileg is máshol, a fotoszisztéma I és a fotoszisztéma II egymástól különböző, de „együtműködő” fotokémiai rendszerében zajlanak le.

A megfelelő fotonokat elnyelő klorofill molekulák π -kötő pályán lévő elektronjai π^* -lazító pályára kerülnek. A fotoszisztéma II reakciócentrumának P680 és a fotoszisztéma I reakciócentrumának P700 pigmentjei fotokémiai reakciók során leadják a lazító pályán lévő gerjesztett elektronjaikat. Ezzel létrejön a töltés-szétválasztás és megindul az elektron-transzport. Ez a két egymással együtműködő fotokémiai rendszerben olyan kétlépcsős reakciósorozat, amely két foton abszorpciójának hatására NADP^+ -t hoz létre. Lásd 3. táblázat ① és ② lépései. A fotoszisztémák működését a lineáris-elektron-transzport-lánc köti össze: ③ lépés.

Mivel a fényszakaszban a lazító pályáról átvett elektron nem kerül vissza a ciklus kiindulási helyére a fotoszisztéma II-be, a fényszakasz fenntartásához és kvázi-ciklikus működéséhez szükség van a külső elektron utánpótlásra. A fényszakasz kétlépcsős elektron-ciklusában az elektron pótlást biztosító regenerációs folyamat neve fotolízis, amely, a fotoszisztéma II-ben víz felhasználásával történik meg foton elnyelése nélkül [22]. A fotolízis során szabadul fel a földi élet számára nélkülözhetetlen oxigén is. A fotolízis reakció-egyenlete: $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O} + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+$, melyet a 14. ábrán a ④ lépéssel jelöltem.

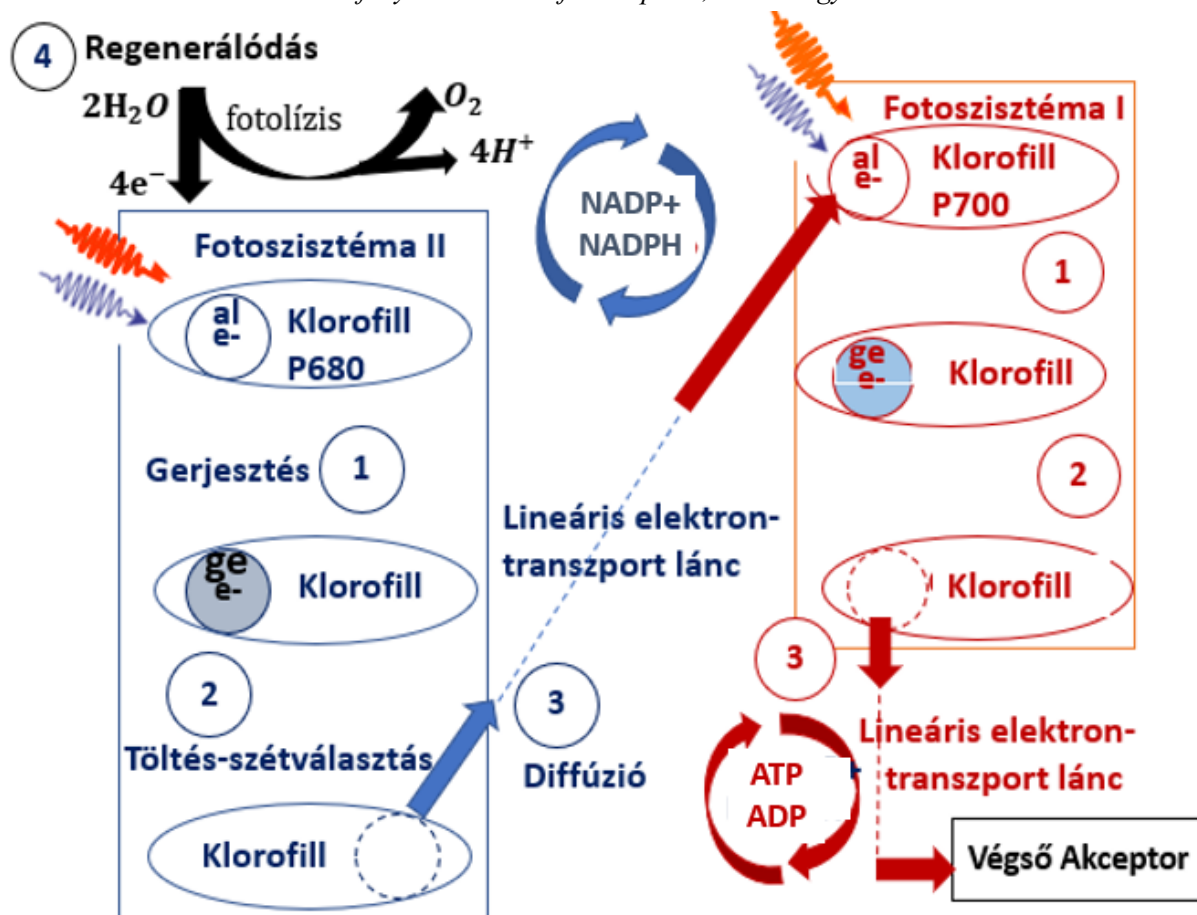
Fizikatanítási szempontból a Calvin-ciklus háttérbe szorul, de mindenképpen meg kell említeni a fényszakasz és a Calvin-ciklus közötti regenerációs folyamatokat, amelyek csak sejtetik a fotoszintézis komplexitását. A fotoszisztéma II és a Calvin ciklus közötti regenerációs folyamat során egy pozitív-ion, a nikotinamid-adenin-dinukleoid-foszfát-ion (NADP^+) használja fel az a lazító pályáról átvett elektront. Az így nyert NADPH-t (nikotinamid-adenin-dinukleoid-foszfát-oxidázt) a strómában a Calvin-ciklus használja majd fel glükóz előállítására, amely NADP^+ -ionként kerül vissza a folyamatba.

A fényszakasz második lépésében, a fotoszisztéma I és a Calvin-ciklus között lejátszódó regenerációs folyamat az adenosin-difoszfátból (ADP) adenosin trifoszfátot (ATP) állít elő. A Calvin-ciklus ezt glükóz előállító folyamatai számára használja fel, majd a fotoszisztéma II adenosin-difoszfátként kapja vissza. Lásd 3. táblázat utolsó sorait a ④ lépésben.

Azt felismerve, hogy az organikus napelem-celláknál megismert elektron-ciklus főbb lépései kétszer is megismétlődnek a fotoszintézis fényszakaszában, leegyszerűsíthető és középszinten is érthetővé tehető a fotoszintézis fényszakaszának folyamata.

Lépés	Fotoszintézis fényszakasza		
①	FSZ II, pigment P680		FSZ I/ FSZ II= fotoszisztéma I/ II LETL = lineáris-elektron- transzport lánc NADP ⁺ / NADPH = nikotinamid- -adenin-dinukleotid- -foszfát/ oxidáz
	FSZ I, pigment P700		
②	Gerjesztett P680 → e ⁻ + P680 ⁺		ADP = adenozin-difoszfát ATP = adenozin-trifoszfát Kl all / Kl al = klorofill all / al al e ⁻ / ge e ⁻ = alapállapotú/ gerjesztett elektron
	Gerjesztett P700 → e ⁻ + P700 ⁺		
③	FSZ II → LETL → FSZ I		
	FSZ I → LETL → Végső Akceptor		
④	e ⁻ -pótlás fotolízisből: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{e}^- + 4\text{H}^+$		
	Fényszakasz és Calvin-ciklus között: FSZ II: NADP ⁺ ↔ NADPH, FSZ I: ADP ↔ ATP		

3. táblázat Fotoszintézis fényszakaszának főbb lépései, reakcióegyenletek



14. ábra. Fotoszintézis fényszakasza: Elektron-ciklus

A rövidítések magyarázatáért lásd a 3. táblázat jobb oldali oszlopát

① Gerjesztés ② Töltés-szétválasztás ③ Lineáris-elektron-transzport ④ Regenerálódás

1.4. Foton-elektron kölcsönhatások egységes leírása

A napelemekben a napenergia átalakítása a foton-elektron kölcsönhatáson alapszik. Ez a kölcsönhatás-típus egyrészt a foton energiájától, másrészt attól a struktúrától függ, ahol az elektron a foton abszorpciója előtt található.

Olyan molekuláris rendszerekben, mint a levelek, a napenergia elektromossá alakításának szükséges feltétele az, hogy az elektron kémiai kötésben vegyen részt. A kötésben részt vevő elektron és a foton kölcsönhatása után a foton felhasítja az $(A\bullet\bullet B)$ kémiai kötést. A kötés felhassítása vagy az $(A\bullet)$ és $(B\bullet)$ energiadús gyökök felszabadulását eredményezi (homolitikus hasítás) vagy a számunkra érdekesebb esetben kívülről nézve az egész struktúrát gerjeszti (heterolitikus hasítás). Ugyanis a heterolitikus hasítás után létrejövő $(A\bullet\bullet)^-$ akceptor és B^+ donor részek között kialakuló elektromos tér lesz az elektromos áram és az elektron-transzport létrejöttének alapja [7].

A kristályrácsokban elektromos vezetés akkor valósul meg, ha az elektronok a teljesen betöltött vegyértéksávból, ahol helyhez kötöttek, a vezetési sávba lépnek át. Itt ugyanis betöltetlen állapotok vannak, az elektronok külső elektromos tér hatására képesek lesznek a rendezett mozgásra, kialakulhat az elektromos áram [29] [30].

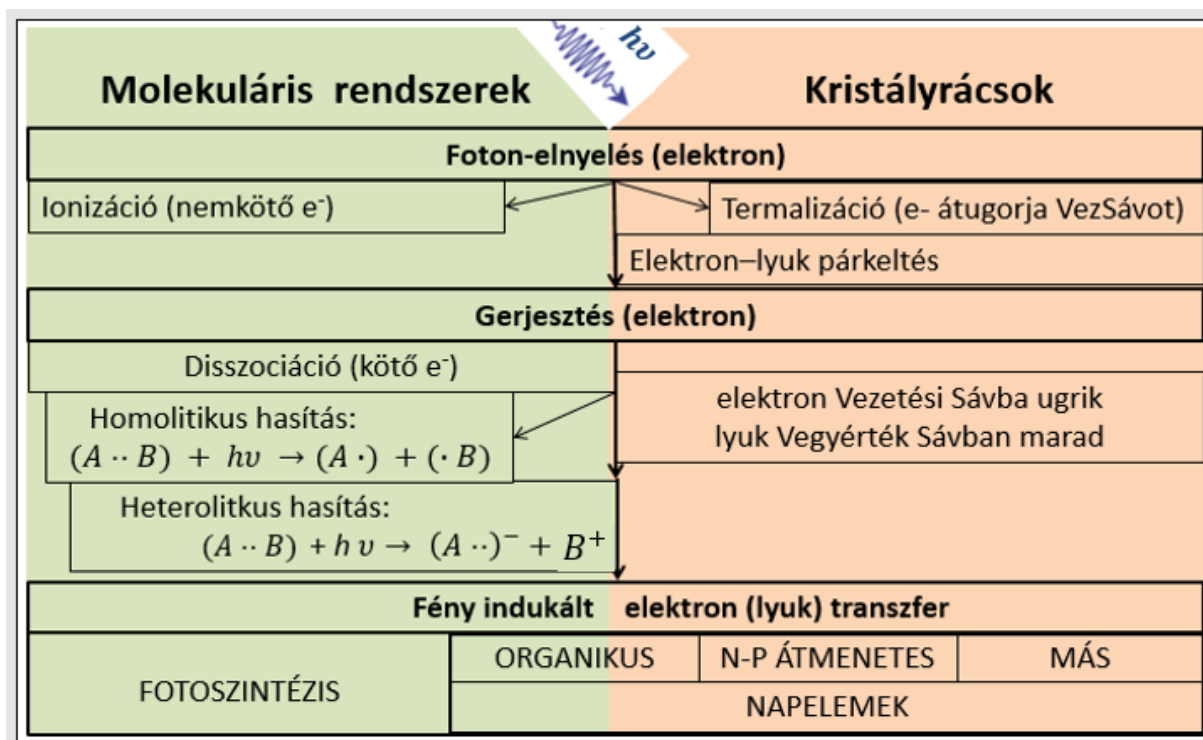
Ahhoz, hogy részt vehessen az elektromos vezetésben az elektronnak át kell ugrania a tiltott sávot (a gap-et) és nem szabad túlugrania a vezetési sávot sem. Abban az esetben, ha az elektron átugorja még a vezetési sávot is, az elektromos vezetésben nem tud részt venni. A termalizációnak nevezett folyamat során az elnyelt foton energiája csak melegíteni fogja a napelemet, működési problémát okozhatva ezzel.

Mindezek miatt ahhoz, hogy egy napelem széles spektrumon működhessen keskeny gapű kristályt célszerű használni. Ezzel ellentétben a nagy teljesítmény eléréséhez és fényre stabil napelem készítéséhez széles gapű kristályt kell keresni. Kompromisszumos megoldásként a hagyományos napelemeknél alkalmazott kristályrácsok optimális gapja 1,1 és 1,7 eV között van. Az ilyen gapű kristályok a félvezető-kristályok. A legtöbb hagyományos napelemben a szilíciumot, illetve szennyezett változatait alkalmazzák. A szilícium gapje szobahőmérsékleten 1,11 eV.

A fentebb leírtakat összefoglalja a 15. ábra és lásd még a 3. ábrát is. A 15. ábrán látható, hogy az organikus napelemek átmenetet képeznek a fotoszintézis és a hagyományos napelemek között. Értve ezalatt azt, hogy közös a működési elvük, melynek neve fény-indukált elektron/lyuk transzfer. Amennyiben a napelem-cellában alkalmazott színezéket a jobb hatásfok elérése vagy a stabilitás fokozásának érdekében laboratóriumban állítják elő, a folyamatot mesterséges fotoszintézisnek nevezik [6] [20] [21].

A 15. ábrából is kitűnik, hogy az organikus napelemek működésében fontos szerepet játszanak mind a molekuláris rendszerek, mind a félvezető-kristályok. Ugyanis a heterolitikus hasítást a színezék molekuláiban az elnyelt fotonok energiája eredményezi, valamint a gerjesztett elektronok megjelenése a napelem-cella félvezetőinek vezetési sávjában teszi lehetővé az elektromos áram létrejöttét,

Az általunk készített málnás napelem-cella esetében a málna-pigment antocianin molekulájában történik meg a heterolitikus hasítás. míg a gerjesztett elektronok a TiO_2 és az FTO vezetési sávjában haladnak a külső áramkör felé.



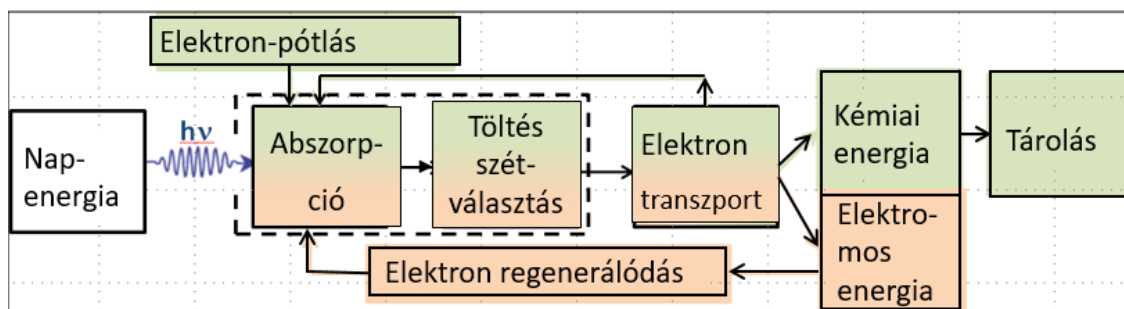
15.ábra Foton-elektron kölcsönhatások molekuláris rendszerekben és kristályrácsokban

Molekuláris rendszerekben a heterolitikus hasítás után az egész struktúra gerjesztett. Olyan kristályrácsokban, mint az egy-p-n átmenetű félvezetők, a kiürítési zóna elektromos tere segíti az elektron/lyuk transzfert.

$(A \bullet\bullet)^-$ az akceptor az átvett elektronnal, $(B)^+$ az ezt az elektront átadó donort, \bullet az elektronokat jelöli

A stabilitás vagy hatékonyság probléma megoldásánál a hagyományos p-n illesztésű napelemeknél mind a foton elnyelését, mind a keletkező elektron-lyuk pár szétválasztását ugyanott, a kiürítési zónában kell megoldani. E kettős funkcióbak a kettéválasztásával, azaz helyileg máshova helyezésével kínál lehetőséget e dilemma megoldására az organikus napelem [1]. Az alkalmazott színezék pigmentje egyrészt kiszélesíti az elnyelési spektrumot a látható tartomány felé, másrészt a már gerjesztett elektront egy széles gapű, fényre stabilabb félvezetőnek adja át. Az általunk alkalmazott TiO_2 gapja 3,2 eV.

A 16. ábra a napenergia átalakításának egy elektron-ciklusát mutatja. A napelemek ciklusa rózsaszínnel, a fotoszintézis fényszakaszaát zölddel jelöltem. Szaggatott vonallal az organikus napelemek abszorpció és töltés-szétválasztási funkció-megosztását ábrázoltam.



16. ábra Elektron-ciklus napelemeknél (rózsaszín) és fotoszintézis fényszakaszaánál (zöld). Szaggatottal jelölve a funkciómegosztás az organikus napelemeknél

2. Napelemek és fotoszintézis analóg tanítása új típusú energia-diagrammal

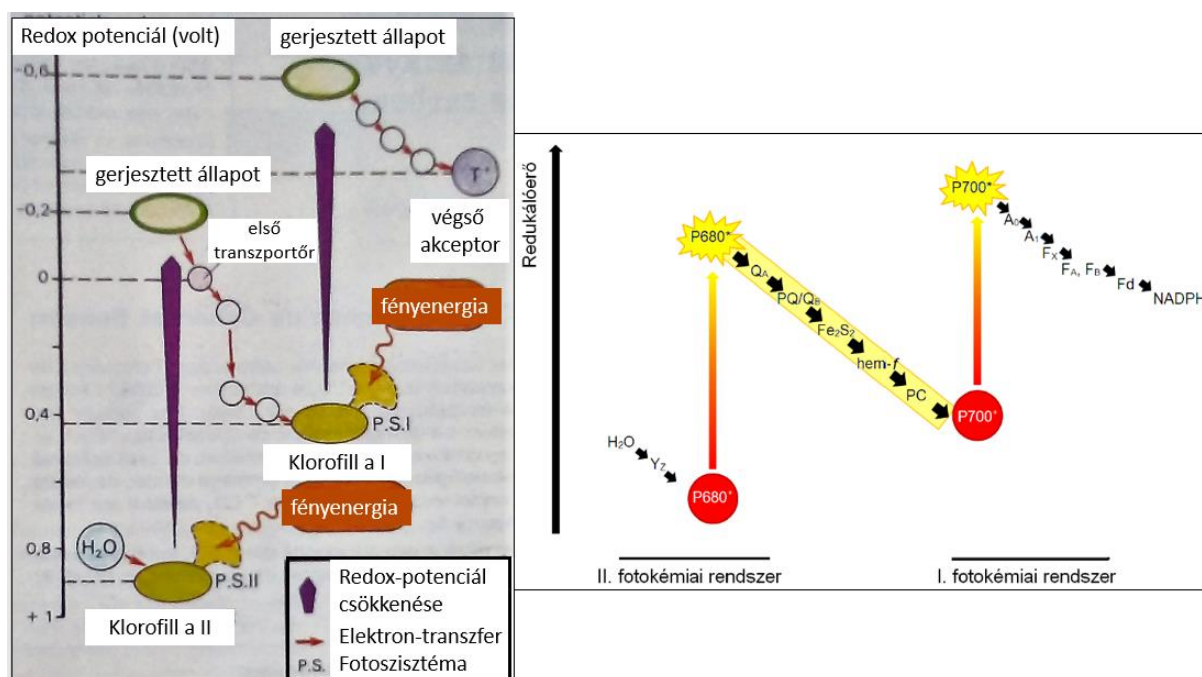
A napenergia-átalakító rendszerek energetikai vizsgálatára és analóg működési elvük szemléltetésére egy új típusú, általánosított energia-diagram használata célszerű. Ezt az ábrázolási módot azért hasznos alkalmazni a fizikatanításban, mert energiaszintek és sávok használatával érthetőbbé teszi a napelem-cellák és a fotoszintézis fényszakaszának működését.

Emellett az új típusú energia-diagramok előnye és újdonsága az oktatásban az, hogy az 1. tézis elektron-ciklus tagolásához igazodva mutatja meg az energiaviszonyokat és ábrázolja az elnyelt foton(ok) energiájának felhasználását a rendszer egyes komponensein, valamint a komponensek közötti folyamatok során. Az új típusú energia-diagramok használatával az organikus napelem-cella energetikai leírására vezethető vissza a hagyományos (egy-p-n-átmenetes) napelem-cellák és a fotoszintézis fényszakaszának leírása is.

Ezért az organikus napelem-cella vizsgálata a másik két napenergia-átalakító eszköz megismerését is megalapozza, lehetővé téve az egységes, kvázi-analóg energetikai leírásukat. Az egységes leírás mind szakirodalmi, mind fizikatanítási hiányt is kíván pótolni.

A fenti rendszerekben az új-típusú energia-diagram használata lokalizálhatóvá teszi az egyes lépések energiaszintjeit, az energiaszintek megváltozását. Ezzel lehetőség nyílik az energia modern fizikai fogalmának elmélyítésére, alkalmazására és analógiák felépítésére.

Az új típusú energia-diagram készítéséhez az alapötletet a fényszakasz leírásához középszinten használt redox-potenciál-diagram szolgáltatta, lásd a 17. ábra bal panel [8]. Ennek előzménye a szakirodalomban a Z-séma modellként ismert, Hill és Bendall 1960-ból származó fényszakasz ábrázolása, 17. ábra jobb panel. E modellben két, a fényenergiát egymástól függetlenül elnyelő fotokémiai rendszer, a fotoszisztéma I és II szerepel [55].



17. ábra Bal panel: Fotoszintézis fényszakaszának redox-potenciál diagramja [8]

Jobb panel: Hill és Bendall Z-séma modellje [54]. A fotonok elnyelése és energiájuk kémiai energiává alakítása két különböző fotokémiai rendszerben, a fotoszisztémákban zajlik le

Ahhoz, hogy a fényenergia-átalakítási folyamatok leírásához egységes keretet nyújtsak a fizikatanításban elterjedt energiát részesítettem előnyben és a voltokban mért redox-potenciálról a diagramokon egységesen az energiára tértem át. Véleményem szerint ez jogos igény, hiszen az eredeti ábrákon a fényenergia és a redox-potenciál is szerepel egyszerre, ami mindenképpen megtévesztő lehet és fogalmi zavart okoz, még a redox-potenciál fogalmát ismerők és használók körében is.

Emellett meg is mértük a leggyakrabban elnyelt fotonok hullámhosszát az organikus napelemek és a fotoszintézis esetében, kiszámoltuk az elnyelt fotonok energiáit és ezek színét is feltüntettük az új típusú energia-diagramokon.

Újdonságot jelent még az új típusú energia-diagramokon, hogy a vízszintes tengelyen feltüntettem a napenergia átalakító egység egyes komponenseit is, így térbelileg is könnyen nyomon követhető, hogy melyik komponensen mekkora relatív energiával rendelkezik az elektron az elektron-ciklus egyes lépésein.

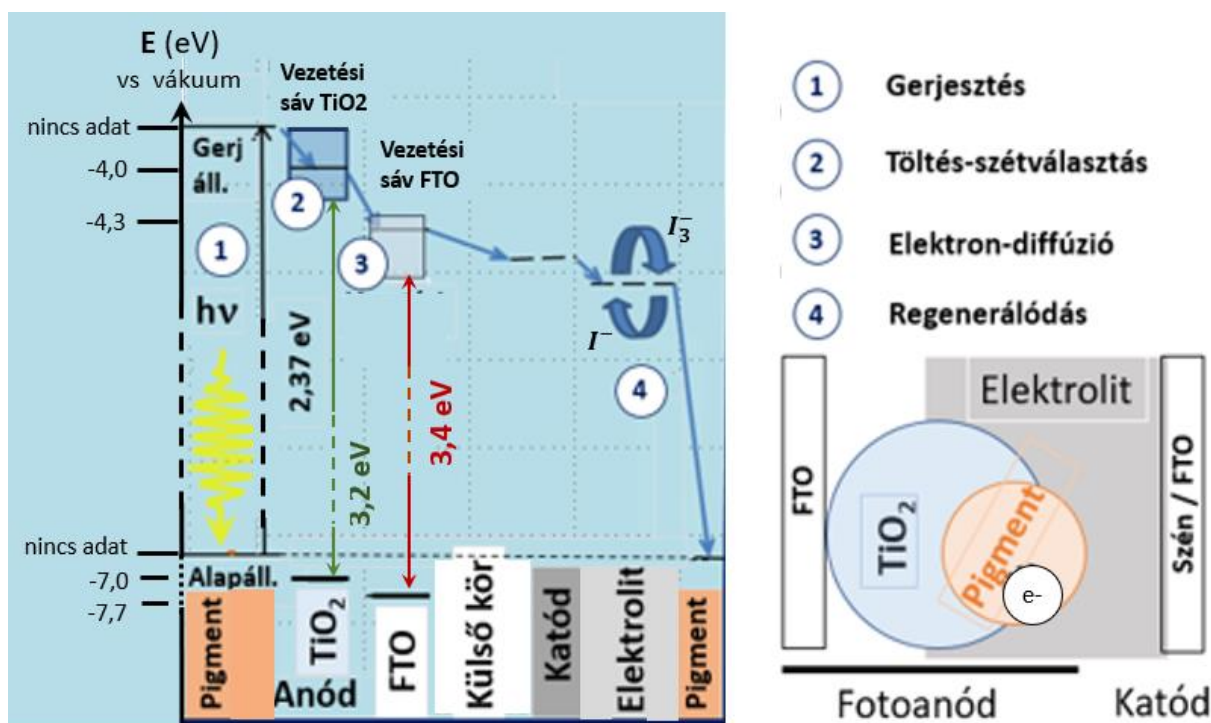
Ezt az új típusúnak nevezett diagram-típust alkalmaztam ezután a napelem-cellák elektron-ciklusának egységes ábrázolásához, kiegészítve azokat is a spektroszkópai vizsgálatok 3. fejezetben közölt eredményeivel. A napelem-celláknál olyan sorrendben ábrázoltam a cella komponenseit, hogy balról jobbra haladva csökkenjen az elektron energiája. Így mindig a gerjesztés helyétől indítottam a ciklus ábrázolását. Az elektron-ciklusok lépéseinek számozását is ehhez az ábrázolási módhoz igazítottam.

Véleményem szerint ez az interdiszciplináris megközelítés és analógia elősegíti majd a napelem-cellák egységes leírását, sőt a napenergia átalakító rendszerek működésének rendszerezését és átláthatóságát is növeli. Ezzel az energiafogalom tantárgyakon átívelő alkalmazását és megértését teszi lehetővé.

2.1. Organikus és hagyományos (egy-p-n-átmenetes) napelem-cellák tanítása új típusú energia-diagrammal

A 18. ábra egy organikus napelem-cella, a málnás napelem-cella, új típusú energia-diagramját mutatja. Vízszintesen a rendszer komponensei, függőlegesen energiaszintjeinek vagy sávjainak egymáshoz viszonyított értékei láthatók. A számok az 1. fejezetben megismert tagolás lépéseit mutatják, a nyilak a lépések közötti folyamatokat jelenítik meg.

A 18. ábra jobb panelén a málnás napelem-cella felépítésének vázlata látható. A fotoanód, elektrolit, katód elnevezések jelzik, hogy egy galvánelemről van szó. A 18. ábra bal panelén látható az energia-diagram, amely a galvánelem „kihajtogatásával” készült, didaktikai céllal. A diagramon balról jobbra haladva követhető nyomon egy elektron-ciklus lépései és energiaviszonyai, mintegy energetikai magyarázatát adva az egyes lépések bekövetkezésének.



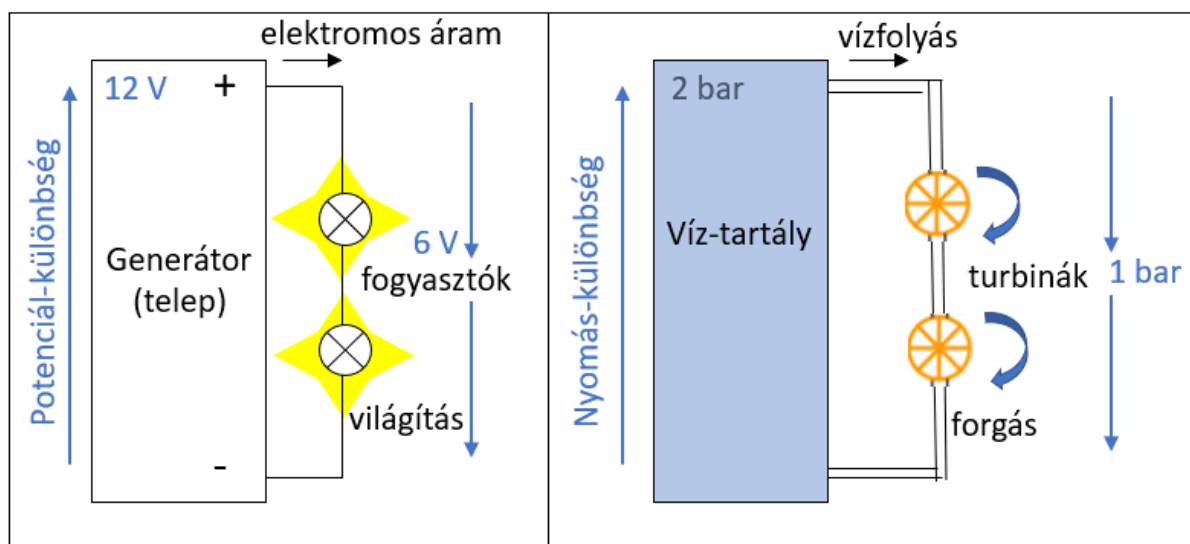
18. ábra Bal panel: Az elektron energiája a málnás napelem különböző komponensein
Jobb panel: Az elektron-ciklus főbb lépései és a komponensek térbeli elhelyezkedése

A diagram abszcisszáján tehát a málnás napelem komponenseit ábrázoltuk a pigmenttel kezdődően, ahol a pigment antocianin-molekulájának alapállapotú elektronja elnyel egy sárgászöld fotont. Az elnyelt foton színének meghatározása a méréseink alapján lehetővé vált (még részletesen kifejtjük a 3.1 fejezetben). Az elnyelt foton hullámhosszát spektrofotométerrel, színét színerékkel és E energiáját az $E = h \cdot c / \lambda$ Planck-egyenlettel határoztuk meg. Itt h a Planck-állandó és c a fénysebesség értéke légüres térben. A 18. ábra bal panelén feltüntettük az saját méréssel meghatározott 2,37 eV értéket. Az energia-diagramokon az elektron gerjesztett állapotának az FTO és a TiO₂ energiasávjainak feltüntetéséhez felhasználtuk [31] értékeit is, ahol az energia viszonyítási szintje a vákuum energiája. Lásd még a 3. fejezetet.

Ez az ábrázolási mód segít megérteni a málnás napelemcella működését, még ha ez el is tér a valós térbeli ábrázolástól. Lásd 18. ábra, jobb panel. Az elektron-ciklus során az energiaszintek csökkenése a fizikatanításban sokszor alkalmazott és jól bevált mechanikai analógiát

sugall az elektrosztatikus és a nehézségi erő helyzeti energiájának analógiájára alapozva azt, figyelembe véve az energia-minimumra törekvés elvét a folyamat irányának követésekor.

A 19. ábrán egy a fizikatanításban sokszor használt, egy generátorból és két fogyasztóból álló elektromos áramkörnek egy mechanikai analógiája látható. Néhány gondolat a klasszikus analógiák alkalmazásának hátulütőiről, az energiakvantum bevezetésének nehézségeiről a 2. fejezet végén olvasható.



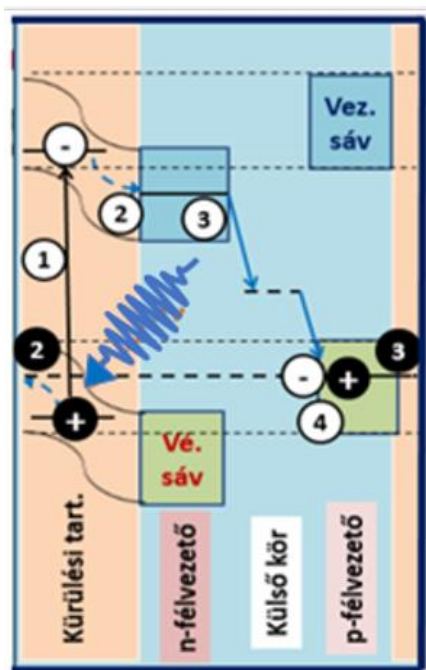
19. ábra Elektromos-mechanikai analógia elektromos fogyasztók és turbinák működése között

A hagyományos (egy-p-n-átmenetes) napelem-cella új típusú energia-diagramját elkészítve úgy, hogy a cellát a kiürítési zónánál elvágjuk, majd a 20. ábra szerint kihajtjuk, az energia-diagram sok szempontból hasonló szerkezetű marad az organikus napelem-cella energia-diagramjához. A fehér kör az elektront, a fekete a lyukat jelzi, a számok az elektron/lyuk-ciklus négyes tagolásának lépései, a nyilak az egyes lépések közötti reakciókat mutatják.

Az organikus napelem-cella energia-diagramjához képest szembeötlő különbség a lyuk ábrázolása és vázlatos nyomon követése a vegyértéksávban, egészen a lyuk-elektron rekombinációig, amelyet a ④ szám jelöl a diagramon. Az organikus pigmenteknél is van "lyuk", de ott pozitív ionként jelenik meg az elektronhiány, ilyen értelemben a 20. ábra a ciklus teljesebb képét adja meg.

E miatt az organikus napelem-cellák energia-diagramja a hagyományos (egy-p-n-átmenetes) napelem-cellák működésének megértésére is használható, alkalmazható az elektron és a lyuk nyomonkövetésére is, valamint a cella egyes komponensein az energia-szintek ábrázolására, azaz az egyes lépések során az elektron energia-változásának szemléltetésére.

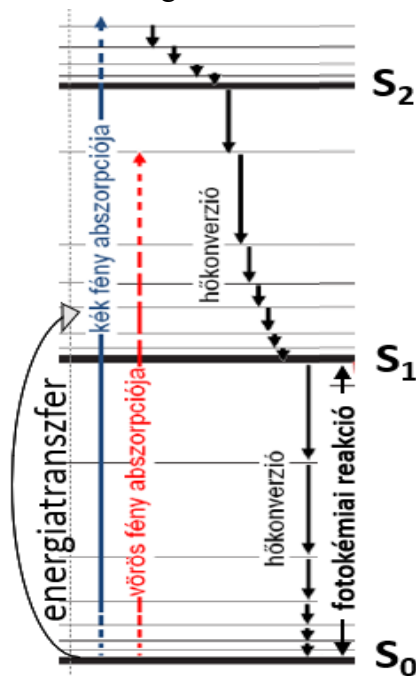
Azt felismerve, hogy az organikus napelem-celláknál megismert elektron-ciklus főbb lépései kétszer is megismétlődnek a fotoszintézis fényszakaszában (14. ábra), az energiaszintek és sávok összehasonlító vizsgálata még jobban kiemeli a két fényenergia átalakítási folyamat hasonlóságát.



20.ábra *Energiaszintek és sávok az elektron/lyuk ciklusban; hagyományos (egy-p-n-átmenetes) napelem-cella* ○ elektron (e^-); ● lyuk (h^+)
 ① Gerjesztés ② Töltés-szétválasztás. ③ Drift ④ Regenerálódás

2.2. Fotoszintézis fényszakaszának tanítása új típusú energia-diagrammal

Az új típusú energia-diagram készítésénél figyelembe vettem a fotonok abszorpciójában alapvető szerepet játszó klorofill-molekulák energiaszintjeit ábrázoló, 21. ábrán látható Jablonsky-diagramot [55]. A diagramon az alapállapotot az S_0 energiaszint jelzi. Ehhez az állapothoz számos egymáshoz közel eső energiaszint tartozik, amelyek széles energiasávot hoznak létre. A megfelelő energiájú foton abszorpciója esetén a molekula a gerjesztett S_1 , S_2 állapotokba, illetve a hozzájuk tartozó energiasávokba kerülnek

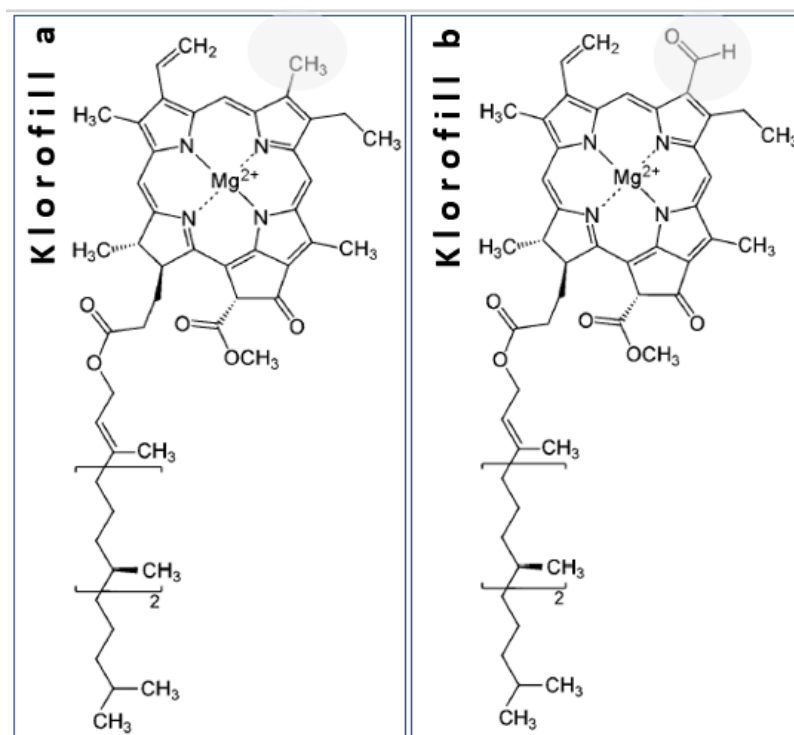


21. ábra A Jablonsky-diagram, melyen egyszerre többféle pigment molekula gerjesztési energiái vannak ábrázolva. A molekulák energiaszintjeit ábrázoló. S_0 alapállapot, S_1 , S_2 gerjesztett állapotok. Az ezekhez közel eső energiaszintek széles energiasávokat hoznak létre. Az S_0 , S_1 , S_2 meletti, szürkével behúzott energiaszintek rezgési energiaszintjei a molekulák adott kötésének.

A klorofill a és klorofill b molekulák esetén a gerjesztés legtöbbször a lilás-kék/ kék, illetve a vörös/ narancssárga fotonok abszorpciójával valósul meg. A 21. ábra diagramján lásd a kék, illetve vörös nyilat. A klorofill a és b molekulák felépítését a 22. ábra mutatja. Az ábrán szürke háttéren látható az a szerkezeti eltérést, amely a molekulák abszorpciós tulajdonságainak eltéréseért felelős. A molekula gerjesztési energiája függ a telítetlen kötések számától, azzal fordítottan arányos [55].

Amennyiben a gerjesztett pigment-molekulák a pigment-molekulák egymással kölcsönható rendszerében foglalnak helyet, a gerjesztési energiájukat átadhatják úgy, hogy maguk alapállapotba kerülnek, míg az energiát átvevő molekula gerjesztett állapotba kerül. A gerjesztési energia-csere két molekula között dipól-dipól kölcsönhatásban, rezonancia révén vagy akár vegyérték-elektron csere révén is megtörténhet. A különböző klorofill-molekulák közötti energia-transzfer feltétele, hogy a gerjesztett molekula kibocsátási spektruma és az energiát átvevő molekula elnyelési spektruma között legyen átfedés. Fotoszintetikus klorofilok között az energia-transzfer hatékonyságát a közöttük lévő kis távolság biztosítja.

Ez az energia-transzfer azonos típusú molekulák között többször is ismétlődhet, a gerjesztési energia molekuláról molekulára adódik át. A klorofilok által abszorbeált energia jelentős része így jut el a reakciócentrumokban lévő klorofill-a (P680 és P700) formákra.



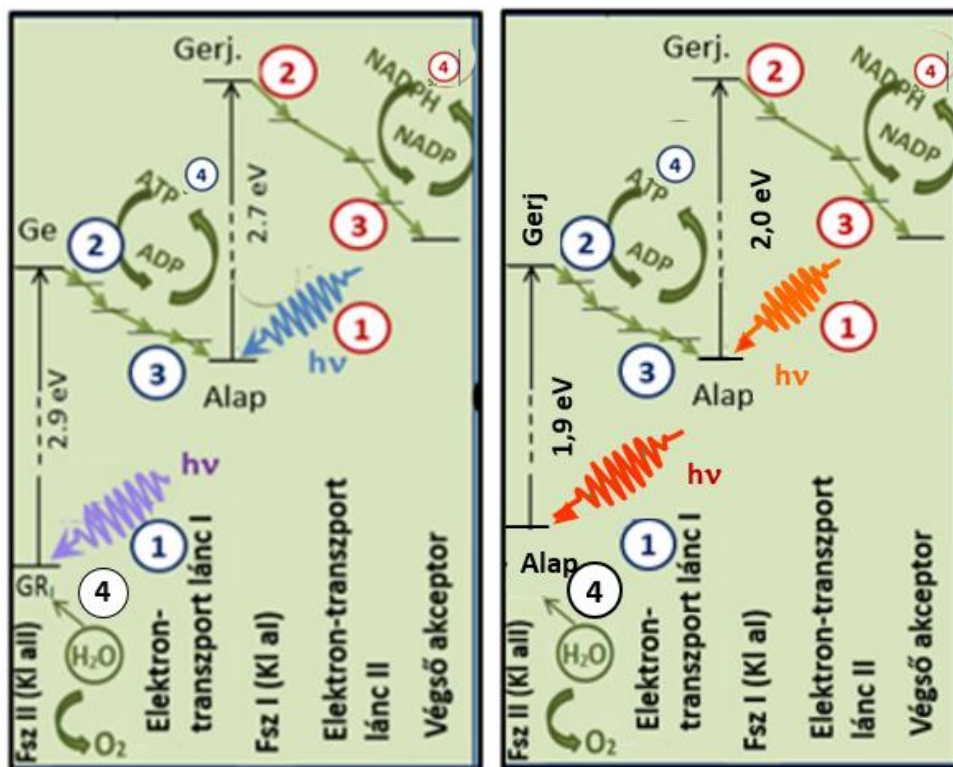
22. ábra A klorofill a és klorofill b molekulák szerkezeti felépítése. Szürke háttéren a szerkezeti különbség, amely az abszorpciós tulajdonságok eltéréseért felelős [55].

A 23. ábra panelei az új típusú energia-diagramokat mutatják. Az abszcisszákon a fényszakasz térbeli komponensei találhatók, kezdve a fotoszisztéma II-vel, ahol az általunk vizsgált klorofill kivonatban a leggyakrabban elnyelt kékes-lila és kék (22. ábra, bal panel) valamint a vörös és narancssárga (23. ábra, jobb panel) fotonok abszorpciója zajlik. Az eredeti 17. ábrán található redoxi-potenciál diagramokat alakítottam át energia-diagrammá. Az átalakítás elvi alapja az, hogy a lineáris elektrontranszport a klasszikus Z-séma szerint valósul meg (17. ábra, bal panel), valamint az a valóságot sok szempontból fedő egyszerűsítés, hogy a fényszakaszban térbeli elektron-transzport előzi meg az elektron-transzportot. A 23. ábra panelein az energiatranszportot nem tüntetjük fel, azt a gerjesztés bonyolultabb mechanizmusaként értelmezzük. Ezekon a diagramokon a reakciócentrumokban létrejövő töltésszétválás utáni lépések láthatók.

Felhasználva az általunk vizsgált klorofill-kivonat fényelnyelési eredményeit, a 2.1.-ben leírt módon meghatározva feltüntettem a 23. ábra bal panelén a fotoszintézis fényszakaszának elektron-ciklusában leggyakrabban elnyelt két foton energiáját (2,9 eV és 2,7 eV) és színét (kékes-lila és kék). A 23. ábra jobb panelén látható a másik fényelnyelési maximumhoz tartozó fotonok energiája (1,9 eV és 2,0 eV), valamint a színeik (vörös és narancs).

Az energia-diagrammon nyomon követhetők az elektron-ciklus négyes tagolású lépései és a Jablonsky-diagram szerint vázlatosan ábrázolt energiaszintek. A két foton elnyelésén és a lépések kétszeri megismétlődésén kívül szembeötlő különbség, hogy a második regenerálódási folyamatot az elektron magasabb energiaszinten fejezi be a fotoszisztéma I-ben, mint ahogy a ciklusba belép a fotolízis után, a fotoszisztéma II-be, alapállapotú elektrónként.

Az alapállapotnál magasabb energiaszintű elektron innen a fotoszintézis második fő szakaszába a Calvin-ciklusba lép, ahol azután tevékeny szerep jut neki a glükóz előállításában, azaz a fényenergia kémiai energiává alakításában [6] [21] [28] [55].



23. ábra. Fotoszintézis fényszakaszának ábrázolása új típusú energia-diagrammokon

Bal panel: a leggyakoribb liláskék/kék fotonok elnyelésével megvalósuló ciklus

Jobb panel: a vörös/narancs fotonok elnyelésével megvalósuló ciklus

① Gerjesztés ② Töltés-szétválás. ③ Lineáris elektron-transzport ④ Regenerálódás

A fotoszintézis fényszakaszában az első foton-abszorpció után először térbelileg az energia molekula-rezonanciákon keresztül lépked az úgynevezett reakciócentrumig. A folyamatot energia-migrációnak nevezik. Itt, tehát a fotoszisztéma II-ben, megtörténik a töltésszétválás, majd megindul az elektrontranszport a lineáris transzportláncon keresztül. Tehát keletkeznek pozitív töltésű molekulák, amik a napelem-celláknál látott lyukak analógiái. A három esetben tehát majdnem teljes az analógia a lyukakkal, illetve a molekula-ionokkal együtt.

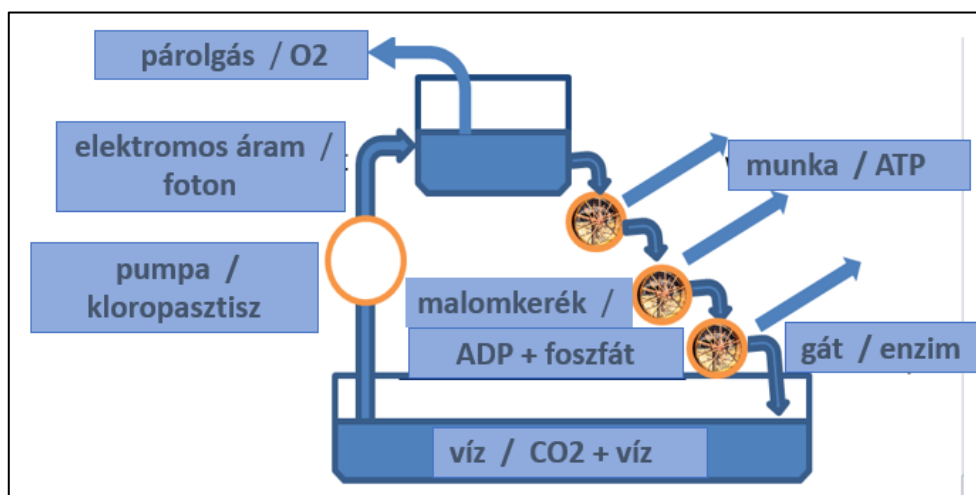
Az organikus napelemek bonyolultabb rendszerek, mint a p-n átmenetes, konvencionális napelemek. Ugyanakkor mégis sokkal egyszerűbbek a nagyon bonyolult fotoszintetizáló molekuláris rendszereknél. E köztes helyzet miatt nyújthat segítséget az organikus napelem-cella a fotoszintézis megértésében. Az általunk követett analógia, mint eszenciális eszköz, más nagyon bonyolult (statisztikus fizikai) rendszerek megértéséhez is jó eszköz lehet.

A fotoszintézis fényszakaszának esetében egy nagyon leegyszerűsített elektromos illetve mechanikai analógia ismert, amelyet a 24. ábra mutat. Ez esetben a foton energiáját egy a vizet felsőbb szinten található tartályba emelő elektromos pumpa jeleníti meg. A ciklus többi részén analóg párok mutatják az összetartozó mennyiségeket vagy a megfelelő szerkezeti egységeket.

A fizikatanítás szempontjából mind a 19., mind a 24. ábra analógiái meg sem próbálják az energiaszintek kvantumozott szerkezetét feltüntetni, de a színek és energiaszintek összefüggésére

sem tesznek kísérletet. Nyilvánvalóan azért, mert a klasszikus fizika keretei között maradnak. Ezzel a fenti analógiák meg is mutatják a napelemek és a fotoszintézis aktuális tanítási problémájának közös gyökerét. Nevezetesen azt, hogy modern fizikai témakörök vagy problémák szemléltetése klasszikus fizikai analógiával szükségképpen hiányosak, sarkítottan fogalmazva hibásak [22].

Ugyanakkor egy adekvát, modern fizikai analógia igénye szembeötlő. Itt olyan analógiáról lehet csak szó, amely már a diákok által előzetesen ismert modern fizikai alapfogalmakat használnak fel. Emiatt is lehet nagy jelentősége az organikus napelem-cellák elektron-ciklusára és új energia-diagramjára épített, az előbbieken, az 1. és 2. fejezetben, ismertetett analógiáknak a fizikatanításban.



24. ábra *Fotoszintézis fényszakaszának mechanikai-elektromos analógiája A bal oldali feliratok a mechanikai-elektromos analógiára, míg a jobboldaliak a fotoszintézisre vonatkoznak A kloropasztisz az a rész, ahol a fotoszintézis fényszakasza lezajlik.*

3. Organikus színezékek fényelnyelő tulajdonságai

Az organikus napelem-cellák fényelnyelő tulajdonságainak jobb megértéséért végeztük el a cellák építéséhez használt színezékek, azaz a málna-, az áfonya- és a mangó-kivonatok spektroszkópiai vizsgálatát. A diákok CD-s spektroszkópot készítettek, majd az organikus napelem-cellák színezékeinek fényelnyelő tulajdonságait vizsgálták. Ehhez felhasználták a spektro2012 szoftvert (Piláth Károly ingyenesen letölthető szoftvere, <http://pilath.fw.hu/lapok/efiz.php?LF=k23.htm>) és egy preparált web-kamerát [11] [12].

A mérési eredmények felhasználásával meghatározhatók az egyes színezékek fényelnyelési maximuma [10]. A méréseket később kiegészítettük klorofill-kivonat vizsgálatával, a fotoszintézis fényszakaszának jobb megértése érdekében. Eredményeink kontrolljaként egy professzionális spektroszkóppal is meghatároztuk a maximális fényelnyelések hullámhosszait.

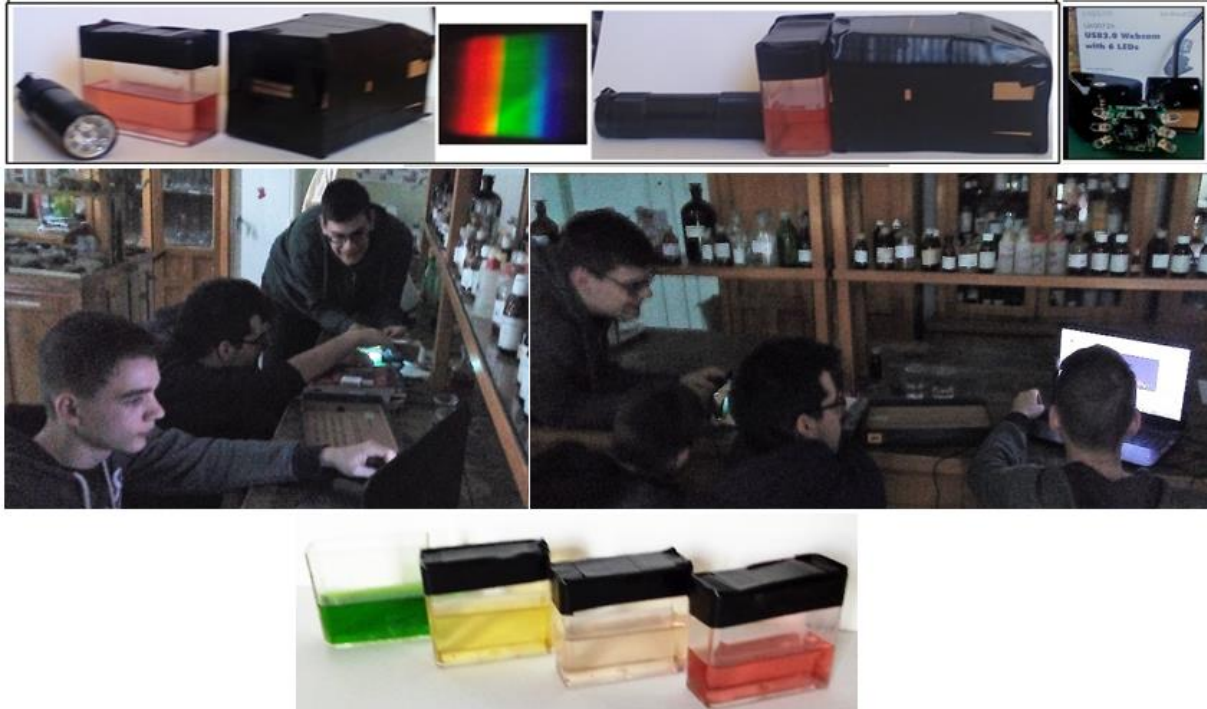
Az eredmények azt mutatták, hogy a diákok készítette spektroszkóppal kapott értékek jól használhatók a színezékek és a klorofill elnyelte fotonok hullámhosszának meghatározására, valamint a színezék-pigmentek és a klorofill szerkezetének jobb megértésére. Tanulókísérleti mérésekkel lehetővé vált az organikus napelem-cellák készítéséhez használt színezékek és a klorofill elnyelte fotonok hullámhosszainak és így energiáinak meghatározása.

Mérési eredményünk és a komplementer szín fogalmának felhasználásával értelmeztük a gyümölcsök és a levelek színét. Ez a tevékenységet mind általános iskolások, mind közpiskolások is elvégezték egy-egy projekt keretei között. Eredményeiket projektbemutaton tették közzé. Lásd 6. ábra és táblázat.

A diákok mérései alapján lehetővé vált az új típusú energia-diagramokon (18. és 21. ábrák) a gerjesztett állapot energiaszintjének feltüntetése is. A fenti spektrofotometriai eredményeket az organikus napelem-cellák és a fotoszintézis fényszakaszának vizsgálatához és leírásához használtuk tehát fel [23].

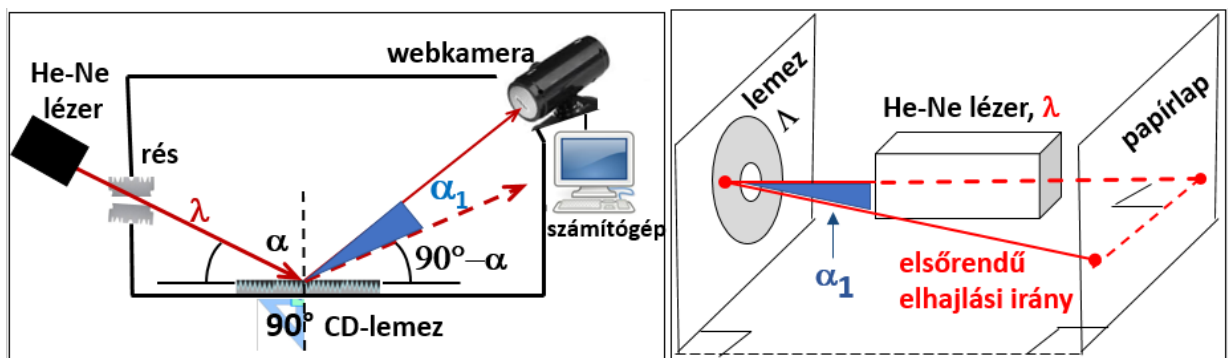
3.1. Gyümölcs és klorofill-kivonatok fényelnyelésének vizsgálata

Organikus színezékek és klorofilok fényelnyelő tulajdonságainak vizsgálatához pigment kivonatokat készítettünk 5-5 gramm friss gyümölcs és 95 ml metanol felhasználásával. A szűrőn áttört és leszűrt, majd a metanollal elkevert gyümölcs-kivonatokhoz 1 ml sósavat adunk, ezután gyertyafénnyel világítottuk meg. A kivonaton áthaladó fényt egy CD-lemezes rácsos spektroszkóppal vizsgáltuk. Spektrofotométernak webkamerát és egy fényintenzitást vizsgáló szoftvert használtunk. Lásd [10] [11] [12] és 25. ábra.



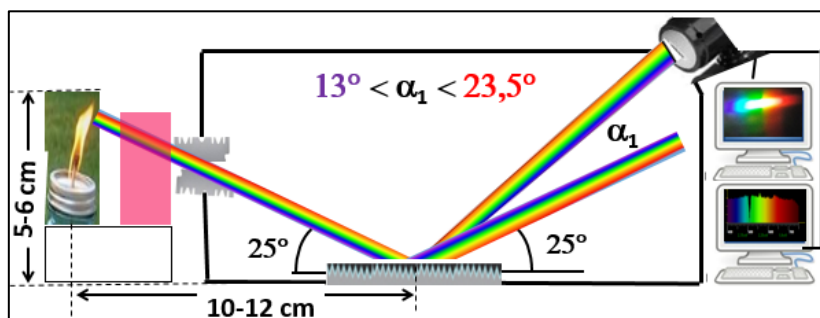
25. ábra Fényforrás, málna-kivonat, spektroszkóp; spektrum; elrendezés; spektrofotométer

A [11] szerint készített spektroszkóp rését párhuzamos borotvapengék alkotják. a CD darabot az 24. ábra, bal panel szerint helyeztük el, tükröző oldallal felfelé. Az CD-re eső fény visszaverődik és el is hajlik, mert a lemez tükröző felületként és optikai rácsként is funkcionál. Ugyanez az ábra mutatja egy λ hullámhosszúságú fénysugár pályáját a spektroszkópban a fényforrás és a webkamera között. Az elsőrendű elhajlási irány meghatározásához az LD Didaktik hélium-neon lézerét használtuk ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$). Ez a további analízisre legalkalmasabb irány a visszavert sugártól mérve $\alpha_1 \approx 22^\circ$. Lásd 26. ábra, jobb panel.



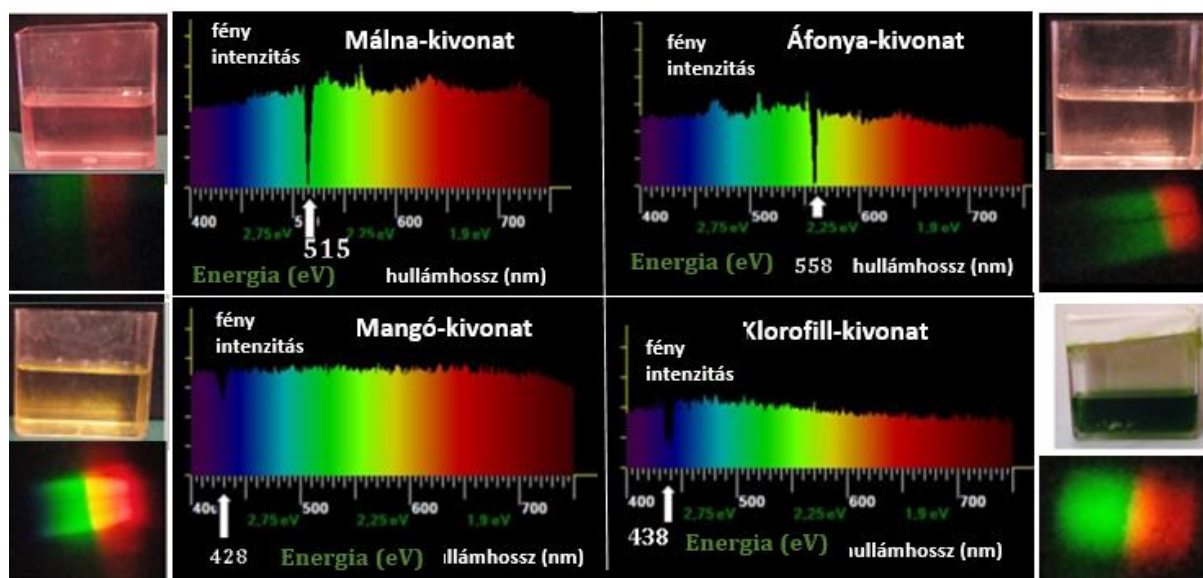
26. ábra Bal panel: λ hullámhosszúságú fénysugár elsőrendű elhajlási iránya a rácsos spektroszkópban
Jobb panel: Az elsőrendű elhajlás irányának meghatározása (α_1)

Egy 3-4 cm magas gyertyaláng és a spektroszkóp rése közé helyezzük el a vizsgálni kívánt kivonatot a 27. ábra szerint. A webkamera megfelelő irányú beállításához először a CD rácsállandóját határozzuk meg (Λ)! Az elsőrendű diffrakciós irányra ismert összefüggés szerint: $\sin\alpha_1 = \lambda/\Lambda$. Esetünkben a rácsállandó $\Lambda_{CD} = \lambda/\sin\alpha_1 = 1750 \text{ nm}$ volt. Összetett fény esetén a hullámhossz 400 és 700 nm közötti, így α_1 13° (lila) és $23,5^\circ$ (vörös) közé esik.



27. ábra A webkamera helye és a kivonaton áthaladó gyertyaláng abszorpciós színekének vizsgálata

A visszaverődés utáni elsőrendű elhajlási irányú fénysugarat a webkamera fényérzékeny CCD-jére fókuszálva, majd kalibrálva, a kamera képét a *Tracker* vagy az *sp2012* szoftverrel vizsgálhatjuk. Lásd [10] és [12]. A választott szoftver a beeső fényintenzitást ábrázolja a hullámhossz vagy a foton energiájának függvényében. Ahogy azt a 28. ábra diagramjai mutatják, a fényintenzitásban a megjelölt hullámhosszaknál csökkenések figyelhetők meg, A kivonatok ezeken a hullámhosszakon nyeltek el leginkább fotonokat a gyertyafényből.



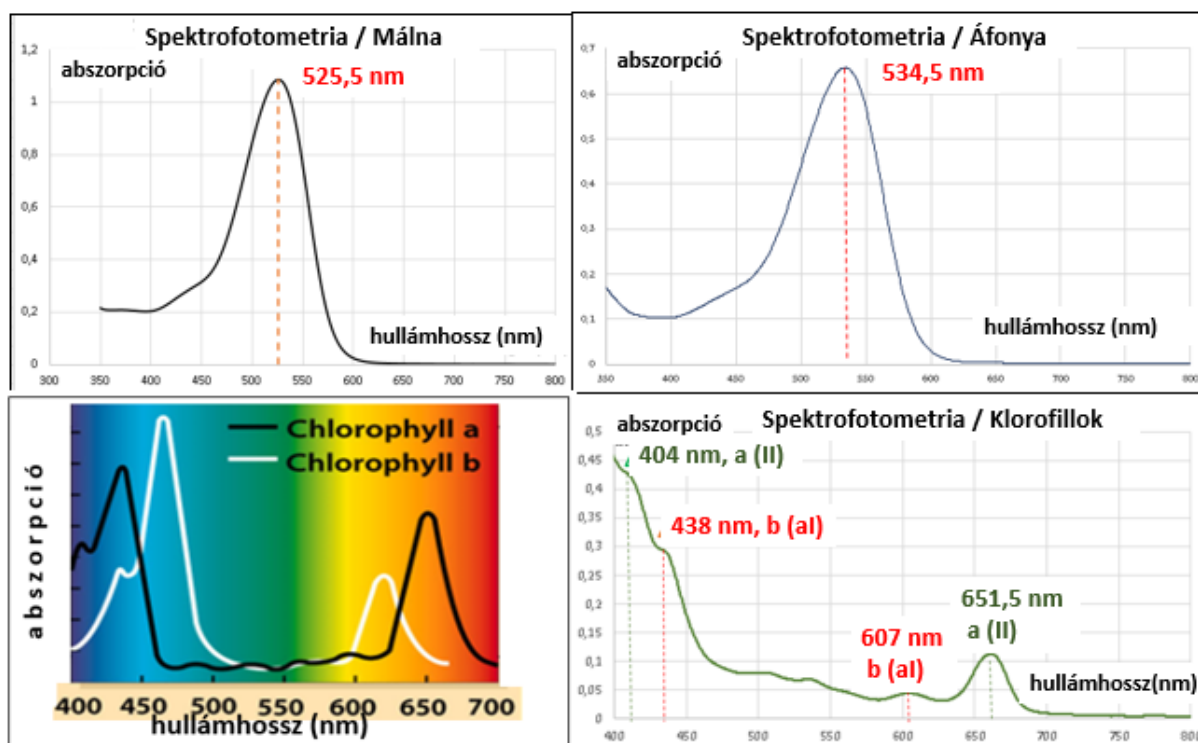
28. ábra Különböző kivonatokon átmenő gyertyaláng színeképei (rácsos spektroszkóppal előállítva, webkamerával megfigyelve és az *sp2012* szoftverrel analizálva)

A kapott eredményeket egy professzionális *PerkinElmer Lambda 35 UV-Vis* spektrométer eredményeivel hasonlítottuk össze, lásd 29. ábra. A leginkább elnyelt fotonok hullámhosszának ismeretében meghatároztuk azok energiáját a Planck-egyenlettel, lásd 4. táblázat. Ezeket az energia-értékeket használtuk az 18. és a 23. ábrák elkészítéséhez.

A klorofilok abszorpcióját vizsgálva és elemezve figyelembe kellett venni, hogy a 29. ábra *Spektrofotometria/ Klorofilok* diagramja két abszorpciós diagram szuperpozíciója. Jelesül a fotoszisztéma II-ben található a (aII) klorofillé és a fotoszisztéma I -ben található b (aI)

klorofillé [6] [8] [55]. A professzionális spektrofotométer eredményei azt mutatták [54]-gyel egyezően, hogy az általunk vizsgált klorofill-kivonatban a fotoszisztéma II-ben a fényelnyelési maximumok a 404 és a 651,1 nm hullámhosszon ((lilas-kék és vörös fotonok), valamint a fotoszisztéma I-ben a 438 és a 607 nm hullámhosszon történtek meg (kék és narancssárga fotonok).

Az általunk készített kézi spektroszkóp használatával a klorofill-kivonatnak a 438 nm-es fényelnyelését sikerült csak kimutatni. A kézi spektroszkóp a vörös fény elnyelési hullámhosszánál már érzéketlen volt. Lásd 28. ábra, klorofill-kivonat panel.



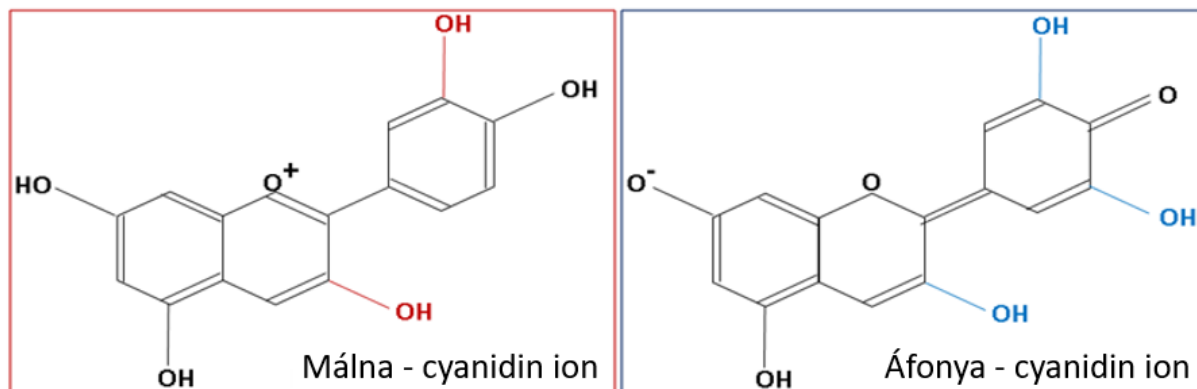
29. ábra Kivonatok fényelnyelése a hullámhossz függvényében, abszorpciós maximumok és hullámhosszaik
A klorofill a és b molekuláknak 2-2 maximuma van. 1-1 kék és 1-1 a vörös tartományban, lásd bal alsó ábra [54]
A klorofill a és klorofill b molekulák abszorpciós görbéinek maximumai látható a jobb alsó ábrán.

Kivonatok	Elnyelt foton hullámhossza (nm)		Elnyelt foton energiája	
	webkamera	spektrofotométer	(eV)	$\cdot 10^{-19} \text{ J}$
Málna	515	525,5	2,37	3,78
Áfonya	558	534,5	2,33	3,72
Mangó	428	x	x	x
Klorofill a (II)	x	404 / 651,5	3,08 / 2,04	4,92 / 3,26
Klorofill b (al)	438	438 / 607	2,84 / 1,9	4,54 / 3,04

4. táblázat Gyümölcs és levél-kivonatok -analízise / Elnyelt foton- hullámhosszak és energiáik

3.2. Szín, komplementer szín, látott szín

Molekuláris szinten e kivonatok, illetve e pigmenteket tartalmazó gyümölcsök és levelek színe az antocianidin molekuláik kromofór-és oxokróm csoportjaitól függ. A színes molekulának szabályosan váltakozó kétszeres és egyszeres kötése van, ráadásul a kétszeres kötéseknek konjugált helyzetet kell elfoglalniuk. Lásd a 30. ábrán bemutatott, málna és áfonya cianidin ionokat ábrázoló példákat és [13].

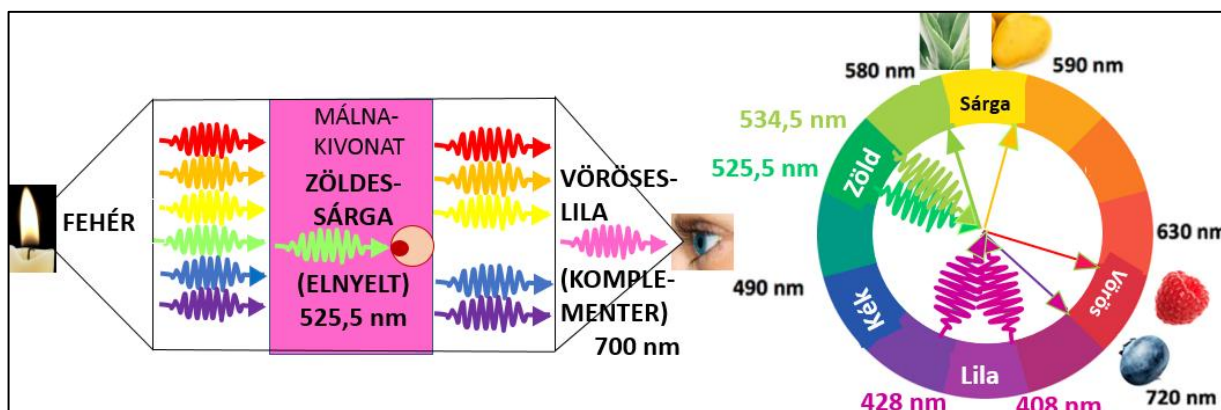


30. ábra Málna- és áfonya-cianidin ionok. Kromofór (fekete) és oxokróm csoportok (színesek)

Az antocianin ionnál az elnyelt foton hullámhosszát elsődlegesen a kromofór csoport határozza meg, az oxokróm csoport csak ezt módosítja, általában magasabb értékek felé tolja el a hullámhossz értékét. A 30. ábrán látható málna- és áfonya cianidin-ionok igen hasonlóak, így érthetővé válik hasonló színük és elnyelt fotonjaik közeli hullámhossza is. Lásd a 29. ábrán az abszorpciós maximumok 525,5 nm és 534,5 nm-es értékeit.

A szín-látás mechanizmusa azon alapszik, hogy a látott színből a tárgy elnyelte szín hiányzik, de legalábbis intenzitása lecsökken. Lásd a 31. ábra, bal panel. A málna-kivonat a zöldes-sárga színt nyeli el, így a látott szín a nem elnyelt színek összege, azaz vöröses-rózsaszín lesz.

A látott színt az elnyelt szín ismeretében gyorsan meghatározhatjuk az 31. ábra, jobb panelén látott színekereket használva. A gyümölcs vagy levél színe megtalálható a keréken az elnyelt színnel átellenes oldalon.



31. ábra Szín és abszorpció: mechanizmus (bal panel) és színekerek (jobb panel)

4. Napelem-cellák tesztelése áramkörben

Az organikus és a hagyományos napelem-cellák tesztelése, a cellák optimális áramerősségének és maximális teljesítményének meghatározása az emelt szintű Fizika érettségi 20. mérési feladatában leírtaknak megfelelően történt meg [25]. A méréseket az érettségire készülve fakultációs órákon, valamint projekt-keretében is elvégeztük. Lásd még 6. ábra és táblázat.

A mérési adatokat is az ott leírtak szerint dolgoztuk fel. A vizsgálatokat a pigmentek antocianin-molekulái (málna, áfonya, mangó, szeder) és a fényforrások (izzó, LED, halogén, neon, higanygőzlámpa) típusa szerint is elvégeztük. A cellák maximális teljesítményét grafikus módszerrel és számítással is meghatároztuk.

Az organikus napelem-cellák mérési eredményeit összehasonlítva a hagyományos (egy-p-n-átmenetes) napelem-cella mérési eredményeivel, méréseink szerint a legmegbízhatóbb, a legjobban elemezhető és legstabilabb organikus napelem-cella a málnás napelem-cella. Arra a következtetésre jutottunk, hogy a málnás napelem-cella legalább olyan jól használható a napelem-cella optimális áramerősségének és maximális teljesítményének a meghatározására, mint a hagyományos (egy-p-n átmenetes) napelem-cella [5].

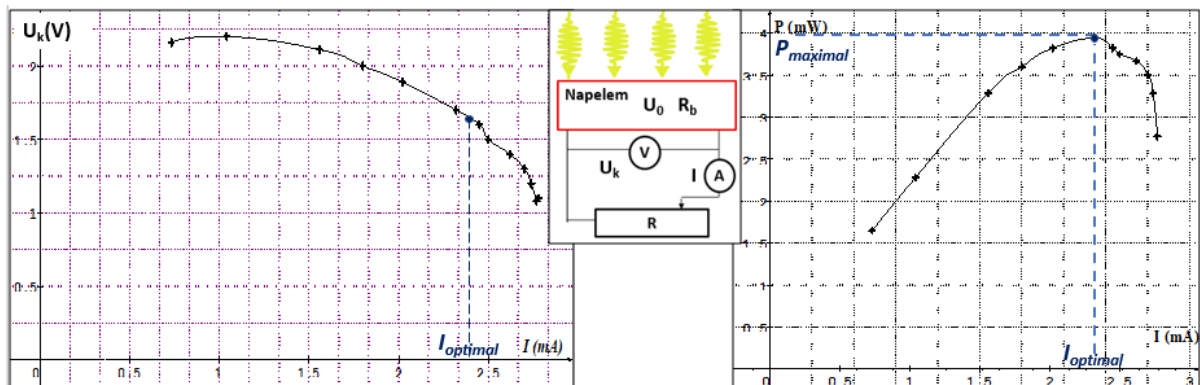
A fényforrásokat tekintve, a higanygőzlámpa esetén illeszkedtek a mért értékek leginkább az elméletileg meghatározható értékekre. A középiskolás diákcsoportok mérési eredményeik felhasználásával ki tudták választani a legstabilabb organikus napelem-cellát és össze tudták vetni a hagyományos napelem-cellák eredményeivel. Ugyancsak ki tudták választani az elméleti értékekhez leginkább illeszkedő eredményeket produkáló fényforrást is [23].

A mérési eredmények alapján a higanygőzlámpával megvilágított málnás napelem-cellát javasoljuk áramkörbeli teszteléshez és érettségi felkészüléshez egyéni, fakultációs vagy projektmunka keretében.

4.1. Maximális teljesítmény

Alkalmazásokban a napelemből nyerhető maximális teljesítmény igen fontos, amelyet a napelem és a megvilágító fény paramétereinek mellett a rákapcsolt áramkör, illetve az abban folyó áram erőssége határoznak meg. Az emelt szintű Fizika érettségi 20. mérési összeállításának megfelelően olyan áramkört alkalmaztunk, amelyben egy változtatható ellenállás segítségével szabályoztuk az áramerősség értékét [25]. Lásd az 32. ábra, középső panel. A külső feszültséget (U_k) és az (I) áramerősséget is e panel szerint mértük. Hagyományos (egy-p-n átmenetű) napelem teszteredményeit mutatják az 32. ábra, bal és jobb paneli.

A bal panelen a külső feszültség látható az áramerősség függvényében. Ezen gyors csökkenés látható egy optimálisnak nevezett áramerősség-érték után ($I_{optimal}$). Az elnevezés oka az, hogy a napelem teljesítménye maximális, ha az áramkörben az optimális erősségű áram folyik. Lásd a 32. ábra, jobb panelen a teljesítmény-áramerősség függvényt. Az egy-p-n átmenetes napelemcellák részletes vizsgálatát lásd [9]-ben.

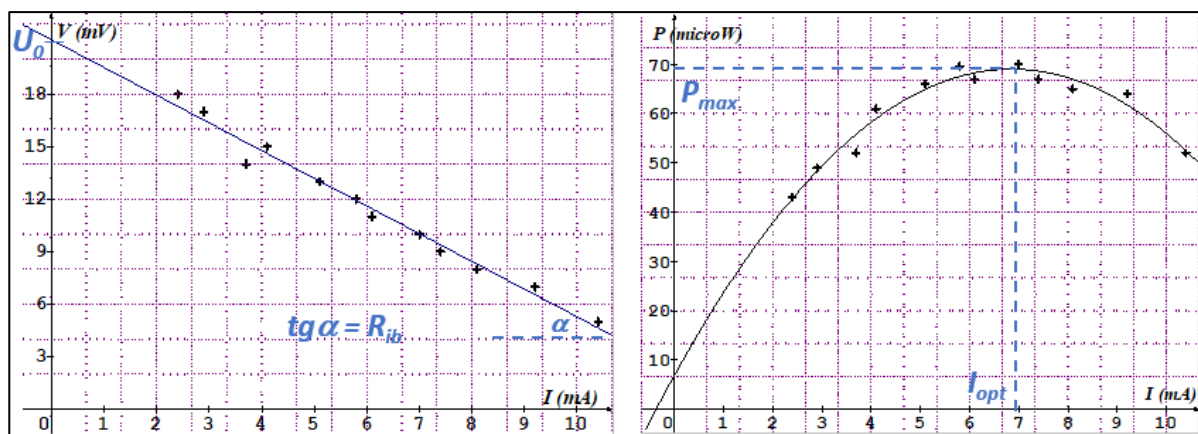


32. ábra Bal panel: egy-p-n átmenetű napelemcella külső feszültség-áramerősség (U_k - I) függvénye
Középső panel: a tesztekhez használt áramkör; \odot = voltméter; \odot = amperméter
Jobb panel: egy-p-n átmenetű napelemcella teljesítmény-áramerősség (P - I) függvénye

A tesztet málnás napelemmel megismételve, egyrészt jóval alacsonyabb feszültségértékeket kaptunk, másrészt a mért értékeket feszültség-áramerősség grafikonon ábrázolva széles intervallumon kvázi-lineáris összefüggést találtunk, e miatt az Ohm-törvény meghatározta egyenes ($U_k = U_0 - R_b \cdot I$) jól illeszkedett a mérési eredményekre. Lásd 33. ábra bal panel. A maximális teljesítmény meghatározásához az R_b belső ellenállás (az illesztett egyenes meredeksége) és az U_0 elektromotoros erő értékére van szükségünk (az illesztett egyenes és az U_k külső feszültség-tengely metszéspontja). Ezekkel az optimális áramerősség-értéke:

$$I_{opt} = \frac{U_0}{2 \cdot R_b}, \text{ a maximális teljesítmény: } P_{max} = R_b \cdot I_{opt}^2 = R_b \cdot \left(\frac{U_0}{2 \cdot R_b} \right)^2 = \frac{U_0^2}{4 \cdot R_b}.$$

Másik lehetőség a maximális teljesítmény meghatározására a teljesítmény-áramerősség függvény közvetlen elemzése. Ez esetben az illesztéssel kapott parabola maximuma adja meg a keresett maximális teljesítmény és optimális áramerősség értékeket. Lásd 33. ábra, jobb panel.



33. ábra Bal panel: Málnás napelem feszültség-áramerősség függvénye és lineáris közelítése

Jobb panel: Teljesítmény áramerősség függvény, maximális teljesítmény, optimális áram

A méréseket több fényforrással is elvégeztük, majd az optimális áramerősséget meghatároztuk egyrészt az előbb ismertetett grafikus módszerrel, másrészt az Ohm-törvény segítségével kapott lineáris közelítést használó formula segítségével is: $I_{opt} = \frac{U_0}{2 \cdot R_b}$.

Eredményeinket az 5. táblázat foglalja össze. Ez azt mutatja, hogy megfelelő érzékenyséű mérőműszerek biztosítása esetén, a málnás napelem-cella használható a 20. számú Emelt szintű szóbeli Fizika érettségi mérés elvégzésére, ugyanis a már a neon fényforrással megvilágított málnás napelem-cella esetében is jobb relatív-hiba értéket kapunk, mint a halogénnel megvilágított hagyományos napelem-cella esetén.

Az R Relatív hibát a Mérésekből kapott (M) és a Számított (SZ) értékek felhasználásával számoltuk. mind az optimális áramerősség, mind a maximális teljesítmény esetében:

$$R = \frac{M - SZ}{SZ} \cdot 100\%.$$

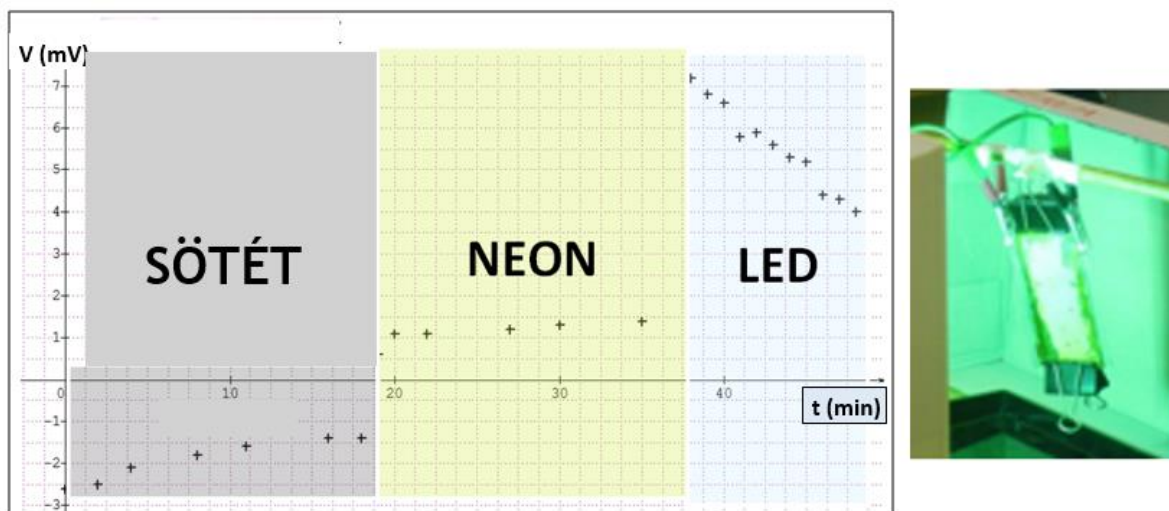
	Mérések		Számított		Mérésekből		Relatív hiba %
	R belső (Ω)	U ₀ (mV)	I _{opt} (μA)	P _{max} (μW)	I _{opt} (μA)	P _{max} (μW)	
Hagyom./Halog.	1070	4270	2000	4270	2475	4600	23.75
Málnás/Neon	650	8.1	6.2	25.1	6.9	26.6	11.3
Málnás/UV	170	60	176.5	5294	177.5	5660	0.6

5. táblázat

Az optimális áramerősség mért és számított értékei
hagyományos (egy-p-n-átmenetes) és málnás napelem-cella esetén

4.2. Organikus napelemek, mint feszültségforrások

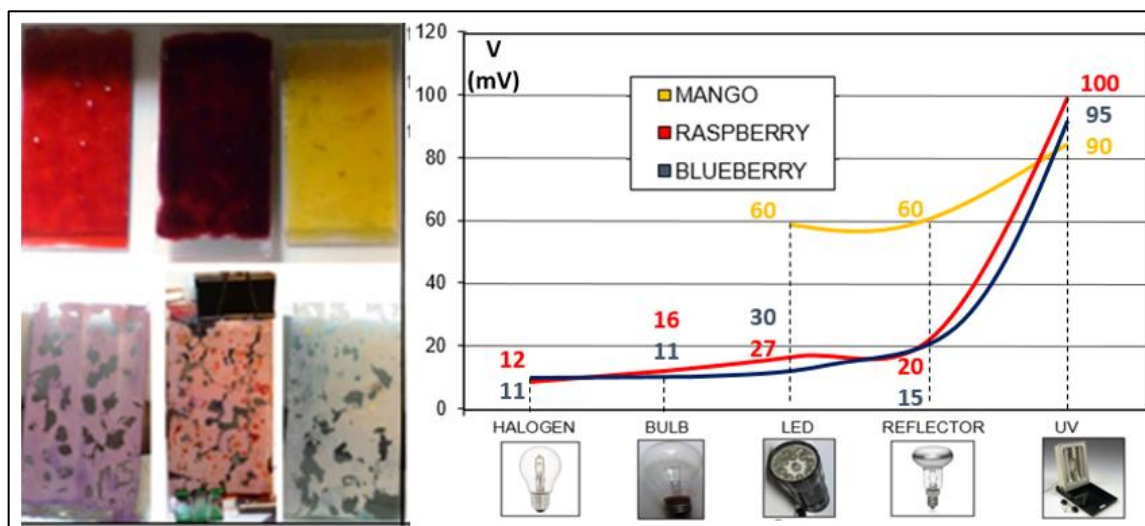
A megépített málnás napelem elektródjai közötti feszültséget először sötétben mértük, majd neon- végül LED fényforrás hatását vizsgáltuk. A 34. ábrán az idő függvényében láthatók a mért feszültségértékek.



34. ábra Bal panel: különböző fényforrásokkal megvilágított málnás napelem feszültség-idő függvénye,

Áfonya- és mangó-pigmenteket használva is készítettünk organikus napelemeket és mindhárom organikus napelemet hasonló körülmények között teszteltük. A tesztek-eredményét a 35. ábra, jobb panel tünteti fel, amelyen az egyes fényforrások hatására mért feszültség-értékek láthatók.

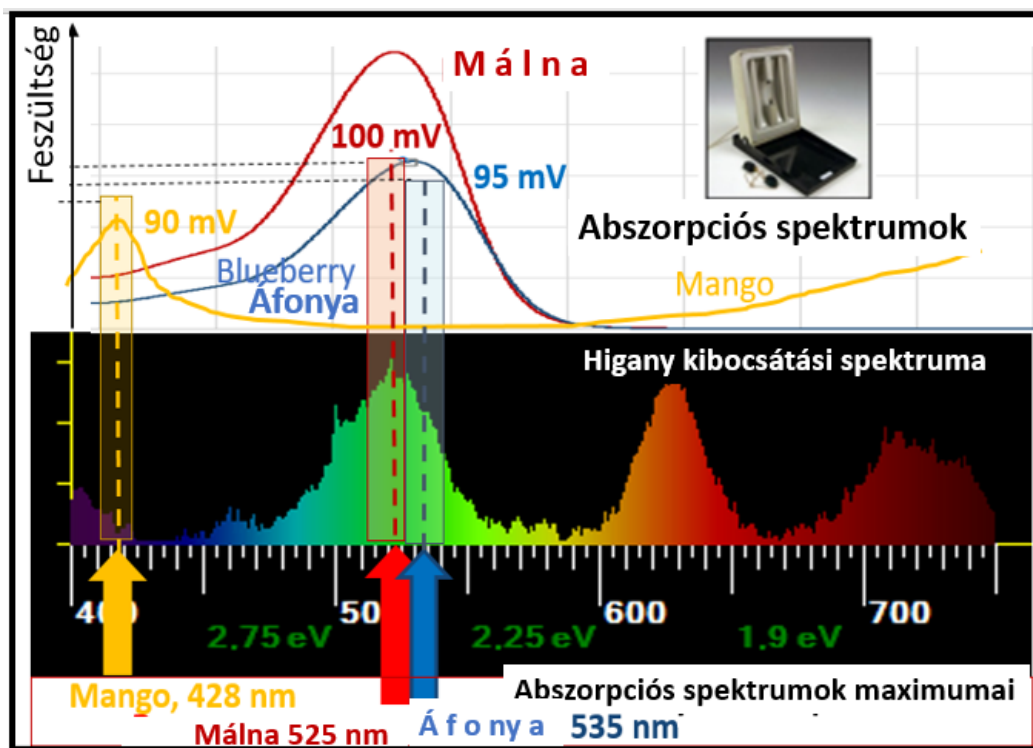
A vörös oszlopokkal ábrázolt málnás napelem nagyon hasonlóan reagált a különböző fényforrásokra, mint a kékekkel ábrázolt áfonyás napelem. A mért feszültségértékek minden fényforrás esetén némileg magasabbak voltak a málnás napelem esetében, az áfonyásénál. A sárga oszlopokkal ábrázolt mangós napelemcella érzéketlenebbnek bizonyult a fényforrásokra, mint az előző napelemek. A mért feszültségértékeket vizsgálva, végül megállapítottuk, hogy mindhárom napelem az UV-fényforrásra a legérzékenyebb.



35. ábra Bal panel: Málna-, áfonya- és mangó-kivonatok, valamint az anódok
Jobb panel: Különböző fényforrások és az organikus napelemek feszültségei

Úgy gondoljuk, hogy a mangó gyenge rögzülése a TiO_2 -rétegen játssza a fő szerepet a mangós-cella kiszámíthatatlan feszültségértékeiben. Emiatt a málnát és az áfonyát javasoljuk stabilabb napelem készítéséhez. Kiemeljük, hogy a 35. ábra értékei relatív-értékek, a cellák átlagos feszültségeinek arányát tükrözik.

A fényforrások kibocsátási spektrumai, az organikus színezékek elnyelési spektrumai és a napelem-cellák feszültségértékei közötti összefüggést vizsgálva szem előtt kell tartani, hogy a mért értékek érzékenyek a beeső fény-intenzitásra és a napelemcella készítési módjára. Ezek figyelembe vétele mellett is szembeötlő az összefüggés a spektrumok és a cellák feszültségértékei között a higanygőzlámpa esetében. Lásd 36. ábra.

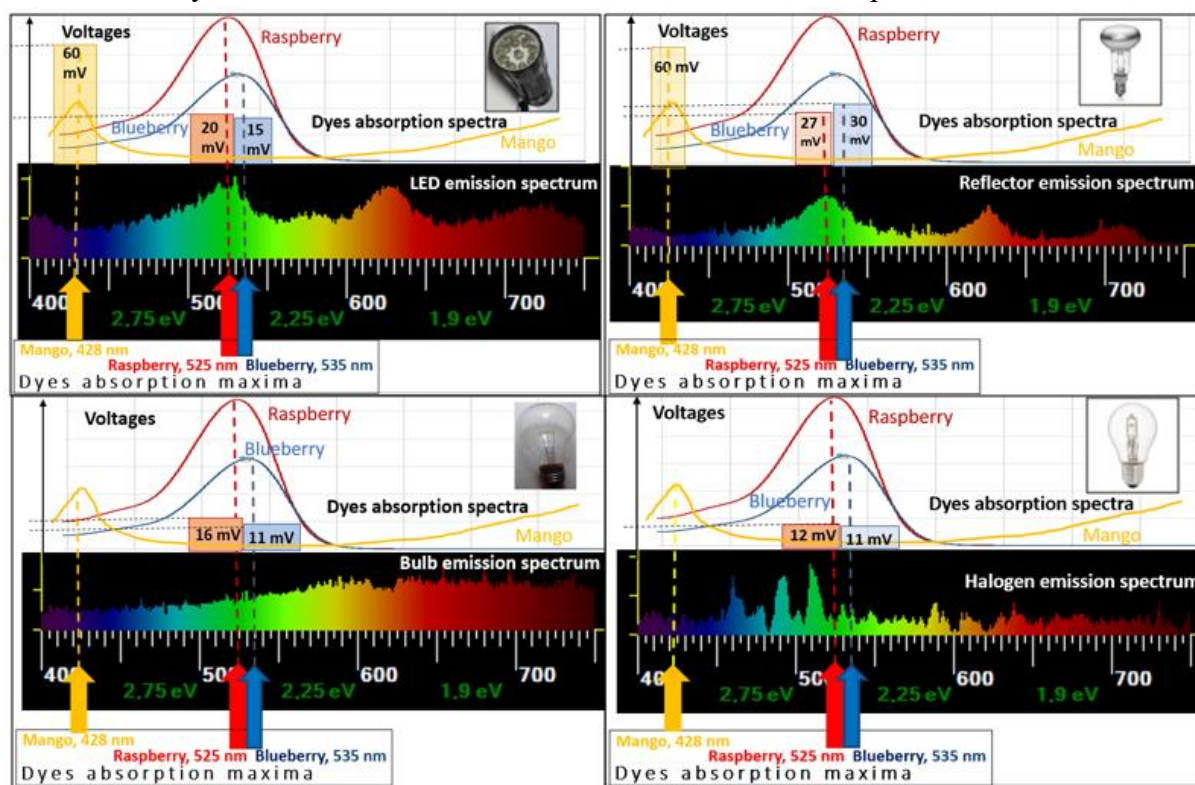


36. ábra Higanygőz-lámpa kibocsátási spektruma, színezékek elnyelési maximumai és az organikus napelemek feszültségértékei (Lásd még 26. ábra és 4. táblázat)

A higanygőz-lámpa kibocsátási színekének csúcsai és a színezékek elnyelési maximumai közel egybeesnek. A lila-kék csúcs a mangó elnyelési csúcsához, a zöld-sárga csúcs a málna és az áfonya csúcsaihoz esik közel. A lámpa kibocsátási csúcsainak intenzitás-különbsége magyarázhatja a napelemek feszültségeinek különbségét. Jóllehet, a fényintenzitás és a kialakuló feszültség kapcsolatainak mély megértése túlmutat a középiskolai tananyag keretein, kvalitatív leírásként mégis megjegyezhető, hogy a nagyobb intenzitás miatt több elektron keletkezik, de nincs áramerősség, hiszen az áramkörben a feszültségmérő végtelen nagy ellenállásként fogható fel. Emiatt a rendszer egy kondenzátorként fogható fel, amit ha nagyobb árammal töltünk fel, akkor nagyobb feszültséget ér el.

A Reflektor és a LED lámpa esetekben a mangós-cella feszültsége vélhetően a spektrum sárga-vörös részéről származik. A málnás- és az áfonyás cellák jóval kisebb feszültség-értékei a zöldes-sárga csúcs relatíve kisebb kiugrásával jól megérthető, amely a kibocsátási spektrum egyenletesebb eloszlásának köszönhető. 37. ábra, felső panelek. Az izzólámpa esetében az alacsony feszültség-értékek az egyenletes-eloszlású, a vörös tartományban intenzívebb

spektrummal magyarázhatók. Halogén fényforrásnál a keskeny kibocsátási csúcsok és a színezékek elnyelési maximumai különböznek. Lásd 37. ábra, alsó panelek.



37. ábra Fényforrások kibocsátási színekei (fent: LED, reflektor, alul: izzó, , halogén lámpák)

Mangó-, málna- és áfonya színezékek elnyelési színekei – Organikus napelemek feszültségei

Az organikus napelemek elektromos tulajdonságai főleg a színezékektől függenek. Ideális esetben a színezék fényre stabil, a TiO_2 -rétegre erősen rögzül, széles abszorpciós spektrummal rendelkezik, az elnyelt foton gerjeszti és hatékonyan közvetíti a gerjesztett elektront a TiO_2 vezetési sávjához. Ezeket a tulajdonságokat, így a színezék minőségét elsősorban a színezék antocianidin molekulája szabja meg. Lásd még a 30. ábrát.

Összegzés

Organikus napelemcella komponenseit mutattuk be, annak elkészítését részletes útmutatóval segítve. Organikus napelemek elkészítését javasoltuk középiskola felső évfolyamain, tanári irányítás mellett és középiskolai szertári háttérrel. Az organikus napelem-cella működési elvét egy elektron-ciklusának tagolásával írtuk le. A működésének jobb megértéséért egy elektron-ciklust lépésekre lebontva energia-diagramon ábrázoltuk.

Az organikus napelemek sokoldalú felhasználhatóságát illusztráltuk az elektromos áramkörbe kötött, galvánelemként és áramforrásként működő málna-pigmenttel érzékenyített napelem-cella teszteredményeivel. A cella maximális teljesítményének meghatározásához szükséges optimális áram értékét lineáris közelítéssel határoztuk meg. Különböző fényforrásokat használva málnával, áfonyával és mangó-kivonattal érzékenyített napelem-cellák elektromos tulajdonságait is ismertettük. Kerestük az összefüggést a különböző típusú fényforrásokkal megvilágított és a különböző organikus pigmentekkel érzékenyített napelem-cellák válaszfeszültség-értékei között. A kísérletezésen és adatelemzésen alapuló modern fizikai energia-koncepció bevezetésével úgy véljük, megteremtettük a lehetőséget több előzetesen ismert fogalom integrációjára, valamint elmélyítésére [5].

Organikus napelem-színezékeket saját készítésű diffrakciós spektroszkóppal vizsgáltuk. A spektrofotometriai adatokat fényintenzitás-hullámhossz diagramon elemeztük. Célunk az organikus színezékek elnyelte fotonok hullámhosszának meghatározása és az ezeket tartalmazó gyümölcsök színének megértése volt. Az organikus kivonatok fényelnyelésének vizsgálata a fotonok energiájának frekvenciafüggése mellett annak kvantumos szerkezetére is rávilágított. A gyümölcsök színének értelmezése jó alapot nyújthat a modern fizika tanításának interdiszciplináris megközelítésére.

Az organikus napelemek elektron-ciklusának leírása, tagolása és az új típusú energia-diagram elkészítése jó alapot nyújtott a további alkalmazásokhoz. Analógiák alkalmazásával a komplexebb hagyományos (egy-p-n átmenetes) napelem-cellák és a fotoszintézis fényszakaszának egységes leírására, az egyszerűsített napenergia-átalakító folyamatok megértésére is lehetőség nyílt.

A közös működési elv bemutatását a foton-elektron kölcsönhatások rendszerezése foglalta keretbe, az elektron-ciklusok egységes tagolása remek alkalmat nyújtott a közép- és felsőbb szintű alkalmazásra is. E kölcsönhatások összehasonlítása molekuláris rendszerekben és kristályrácsokban a természettudományok látszólag távoleső ágait köti össze, mégis szilárd alapokat nyújthat a további alkalmazásokhoz, vizsgálatokhoz [23].

Inga és iránytű analóg leírása különböző erőterekben

Bevezető

A fizikatanításban kiemelt jelentőségűek az analógiák [34] [35]. Ennek illusztrálására az 5. és 6. fejezetekben egy a középiskolai fizikaismeretek didaktikus egymásra építésével kifejtett analógia szolgál az ingamozgás és az iránytűmozgás között. Ezt a mechanikai – elektromágneses analógiát ritkán elemezik [40] [43], sőt magyar nyelvű szakirodalma tudomásom szerint nincs.

Középiskolai alkalmazása nemcsak analóg mennyiségek felismerését, de az iránytű esetében új mennyiség bevezetését is igényli. Majd az analóg mennyiségek használatával egyre bonyolultabb erőterekben írható le egy rögzített tengelyű mágneses dipólus forgó mozgása, lehetővé téve a középiskolai tanórai és a szakköri alkalmazásokat, amelyeket a 2017/ 18. évi tanévben a Budapest VI. kerületi Kölcsey Ferenc Gimnáziumban el is végeztem,

Erre a kihívásra két cél miatt vállalkoztunk: az egyik az analogikus gondolkodás fejlesztése, a másik a másik pedig az volt, hogy egy olyan bonyolult működésű rendszert hozzunk létre, amelyben a kaotikus mozgás megjelenik, és mégis ismert, érthető mozgásformákból épül fel.

A kidolgozás alapja a fonálinga harmonikus rezgőmozgásának ismerete volt homogén gravitációs térben. Az eredeti cél szerint egymásra épülő projektmunkákat dolgoztunk ki, amelyek során analógiát kerestünk a gravitációs és a mágneses terekben észlelhető mozgások között. Az analógia továbbgondolása lehetővé tette a mágneses tér leírását és a mágneses dipólus mozgásának leírását is [50].

A mozgások követése és elemzése során a tanulók számítógépes modellezéssel az önálló kutatómunka rejtelseibe is bepillantást nyerhettek. Végül a diákok kreatív ötletei és önálló eredményei szervesen beépültek a téma továbbgondolt kidolgozásába. A mozgások vizsgálatához a Dynamics Solver ingyenesen letölthető szoftvert használtuk és a tanulók motivációjára építve új ábrázolási módszerek elsajátítására is vállalkoztunk [36].

A vizsgált rendszer sok szempontból ideálisnak bizonyult. A nehezen megvalósítható elrendezés számítógépes modellezése igazi felfedezéssel járt, ugyanis, reményeink szerint, a későbbiekben is jól használható szimulációs eredményeket szültek. Előnyt jelentett az is, hogy a projekteken nincs igazi programozási feladat, az egyenletek numerikus megoldását a szoftver végzi. A diák feladata a rendszert leíró differenciálegyenletek meghatározása volt, így a matematika mindvégig háttérben maradhatott, előtérbe helyezve a fizikai megértést és értelmezést.

A projekt legnagyobb vonzereje mindvégig a determinisztikus káosz felismerése, annak leírása és szisztematikus vizsgálata maradt. Ez vezetett végül egy új elemzési módszerhez, egy videó szerkesztéséhez, amely meglepő eredmény egy középiskolai projektben (38. ábra).



38. ábra

*Kaotikus mozgások vizsgálata számítógéppel középiskolai projektben
(Budapest, Kölcsey Ferenc Gimnázium)*

A stroboszkópikus leképezések összefűzésével készült diák-videó részlete és szerzőik

5. Inga-iránytű analógiák

Homogén álló, homogén forgó és ezek összegeként előálló konzervatív terekben írtunk le inga- és iránytű-mozgásokat. Analógia segítségével kimutatható, hogy középiskolai eszközökkel leírhatóvá tehető a mágneses dipólus forgó mozgása. A homogén mágneses teret iskolai projekt keretében készült Helmholtz-tekerccsel állítottuk elő, amelyhez kidobásra ítélt monitorok réztekerceit használtuk. A forgó és összetett rendszerek kísérleti megvalósítása drága, nehéz a mérési adatok gyűjtése is, ezért a Dynamics Solver iterációs szoftverrel követtük a fenti rendszerek mozgását (J.M. Aguirrebeiria ingyenesen letölthető szoftvere, <http://tp.lc.ehu.es/jma/ds/ds.html>) [36].

A homogén és forgó homogén terekben megvalósuló mozgások elemzésére a szög-szögsebesség fázissíkot használtuk, egyszerre több mozgást jelenítve meg a fázissíkon. Ez egyrészt megkönnyítette a kezdőfeltételektől, azaz a rendszer energiájától való függés szemléltetését, másrészt a különböző mozgásformák megtalálását, azok elemzését.

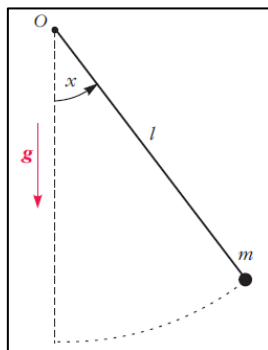
A diákok megértését segíti, ha ezen jelenségek kapcsán bevezetjük a fázis-sík fogalmát, amelyen elemezhető az energia-mozgástípus összefüggés. A szög-szögsebesség fázissíkbeli ábrázolási módnak és a forgó térhez rögzített koordináta-rendszernek köszönhetően a forgó homogén térbeli mozgások leírását visszavezettük álló homogén térbeli mozgások elemzésére. Jóllehet a fázissík használata nem ismeretlen a szakirodalomban, de középiskolai bevezetésére ritkán van mód és lehetőségkonkrét feladatok kapcsán.

A mi esetünkben a fázissík használatára szükség volt ahhoz, hogy tovább tudjunk lépni az összetett térbeli mozgások vizsgálata felé. Az összetett térbeli mozgások szög-szögsebesség fázissíkbeli ábrázolása olyan bonyolult képet eredményezett, hogy egy új, a forgó tér periódusát kihasználó ábrázolási módra, a stroboszkopikus leképezésre is szükség volt. A stroboszkopikus leképezést olyan mozgások keresésére alkalmaztuk, ahol vagy az álló homogén vagy a forgó homogén tér dominált. Ezzel a módszerrel a diákok érdeklődése felkelthető a kvázi-periodikus mozgások vizsgálata iránt.

A stroboszkopikus leképezés megértése és alkalmazása tette lehetővé, hogy veszteséges, összetett térbeli mozgásokat vizsgáljunk. A stroboszkopikus leképezéseken a kaotikus attraktorok keresése igazi felfedező munkát jelentett, amely során sok kreatív ötlet született a diákok részéről, amely kitartó munkával párosulva hozta meg a gyümölcsét.

5.1. Inga és iránytű csillapítatlan mozgásai homogén térben

Az ingák mozgásának leírása és a velük megfigyelhető jelenségek, a harmonikus, csillapított, gerjesztett rezgések, kaotikus mozgások alapvető szerepet játszanak a mechanikában [32] [33]. Legyen itt az inga egy ℓ hosszúságú, egyik végénél, az O pontban felfüggesztett súlytalan rúd, amelynek másik végére m tömegű pontszerű testet rögzítünk. Helyezzük ezt egy homogén, függőleges \vec{g} nehézségi gyorsulású gravitációs térbe, a végére rögzített testet x szöggel térítsük ki függőleges egyensúlyi helyzetéből és hagyjuk magára (39. ábra)!



39. ábra

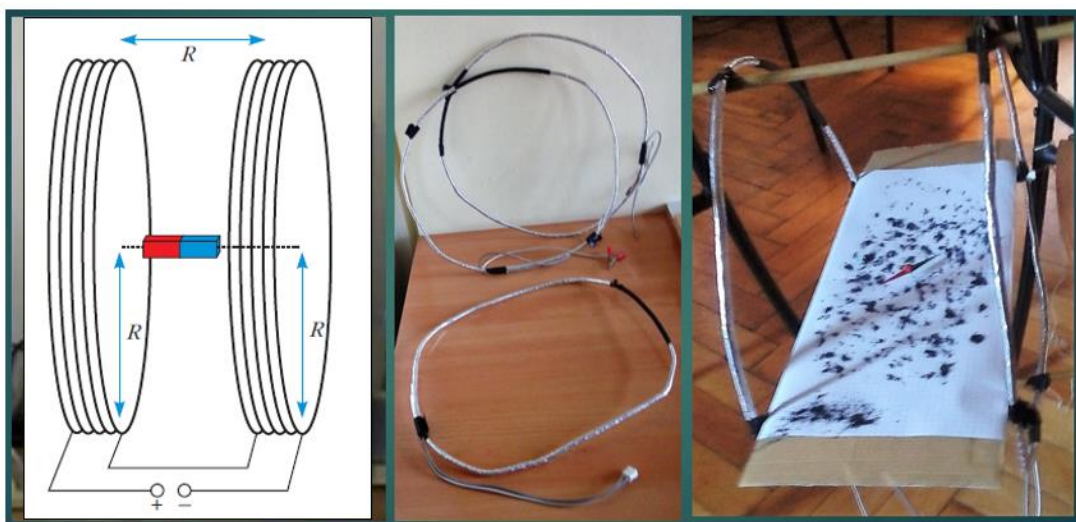
Inga a homogén gravitációs térben

A forgómozgás alapegyenletét az O pont körül felírva kapjuk:

$$(1) -m\ell \cdot g \cdot \sin x = \theta_i \cdot \beta.$$

Az egyenlet bal oldalán található kifejezés az O -ra vonatkoztatott forgatónyomaték, melynek negatív előjele azt mutatja, hogy a nyomaték az ingát mindig az egyensúlyi helyzet felé forgatja. A jobb oldalon β a szöggyorsulása és $\theta_i = m \cdot \ell^2$ az O -ra vonatkoztatott tehetetlenségi nyomatéka.

Ezen rendszer mozgásához hasonló mozgások iránytűvel is megfigyelhetők, azt homogén mágneses térbe helyezve. Ehhez vezessünk Helmholtz-tekercsbe, azaz két közös tengelyű, azonos menetszámú, sorba kötött rövid tekercspárba egyenáramot! A tekercsek mágneses terei összeadódnak, a közöttük lévő térrészben közel homogén indukciójú mágneses tér alakul ki.



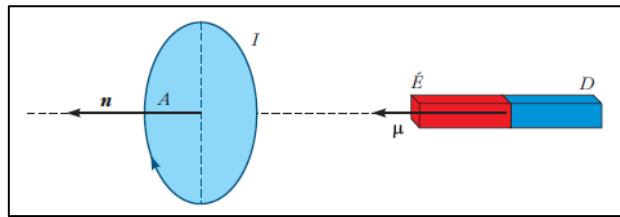
40. ábra

Helmholtz-tekercs vázlata és egy megvalósítás

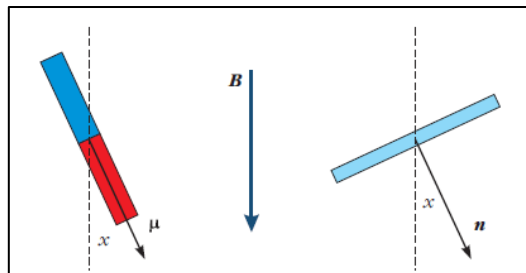
A tér erőssége a tekercs paramétereivel, illetve a körben folyó áram erősségével könnyen szabályozható. A 40. ábra a Helmholtz-tekercs vázlatát, valamint kidobásra ítélt monitorokból kisserelt tekercseket és az ezekkel készült Helmholtz-tekercset mutat.

Az ebbe a mágneses térbe helyezett iránytű mozgásegyenletének felírásához vegyük figyelembe egyrészt, hogy egy iránytű mágneses tere messziről nézve egyenértékű egy köráram mágneses terével. Másrészt egy köráramra ható forgatónyomaték M_{max} maximuma a mágneses indukció mérésének alapja a középiskolában: $M_{max} = -B \cdot A \cdot I$. A köráram területe A és I erősségű áram folyik a köráramban.

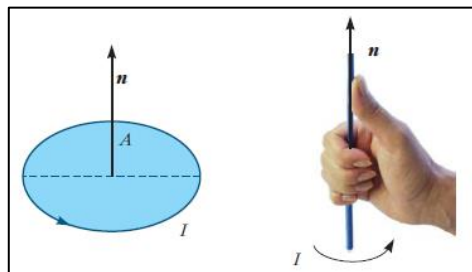
A messziről azonos mágneses terű, megegyező tehetetlenségi nyomatékú, azonos kezdőfeltételekkel indított iránytű és köráram akkor mozog együtt, ha forgástengelyeikre vonatkoztatva ugyanakkora forgatónyomatékok hatnak rájuk. Emiatt érdemes bevezetni a mágneses dipólmomentumnak nevezett $\vec{\mu} = I \cdot A \cdot \vec{n}$ vektort, ahol \vec{n} az A felületre merőleges jobbkézes normál-egységvektor és A az iránytűvel mágneses szempontból is azonos köráram határolta felület (41. ábra, 42. ábra, 43. ábra).



41. ábra Köráram és iránytű mágneses tere messziről szemlélve egyenértékű



42. ábra Iránytű és köráram felülnézetben, homogén mágneses térben

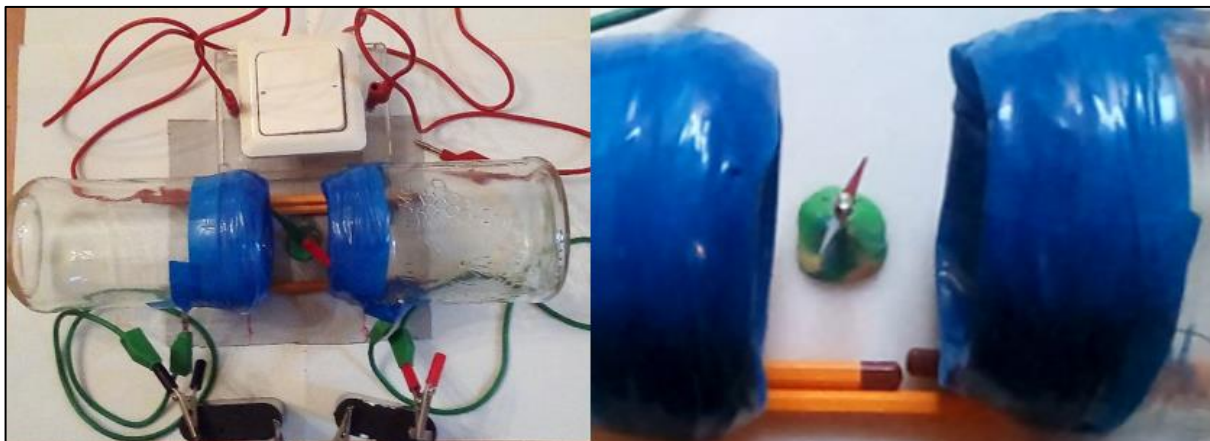


43. ábra Jobbkézes normál-egységvektor

A dipólmomentummal az iránytűre ható forgatónyomaték maximális értéke $M_{max} = -\mu \cdot B$, általános esetben $M_x = -\mu \cdot B \cdot \sin x$, ahol x a $\vec{\mu}$ és \vec{B} egyeneseinek a szöge. Az iránytű mozgásegyenlete ezzel

$$(2) -\mu \cdot B \cdot \sin x = \Theta_d \cdot \beta$$

Itt Θ_d az iránytű tehetetlenségi nyomatéka a közepén átmenő függőleges forgástengelyre vonatkoztatva. Ezt a fonálinga (1) egyenletével összehasonlítva, a g és B , az $m\ell$ és μ , a Θ_i és Θ_d analóg mennyiségeket megtalálva látjuk, hogy mozgásuk dinamikai szempontból egyenértékű. A 44. ábra egy iránytűvel és homogén mágneses térrel megvalósított elrendezést mutat.

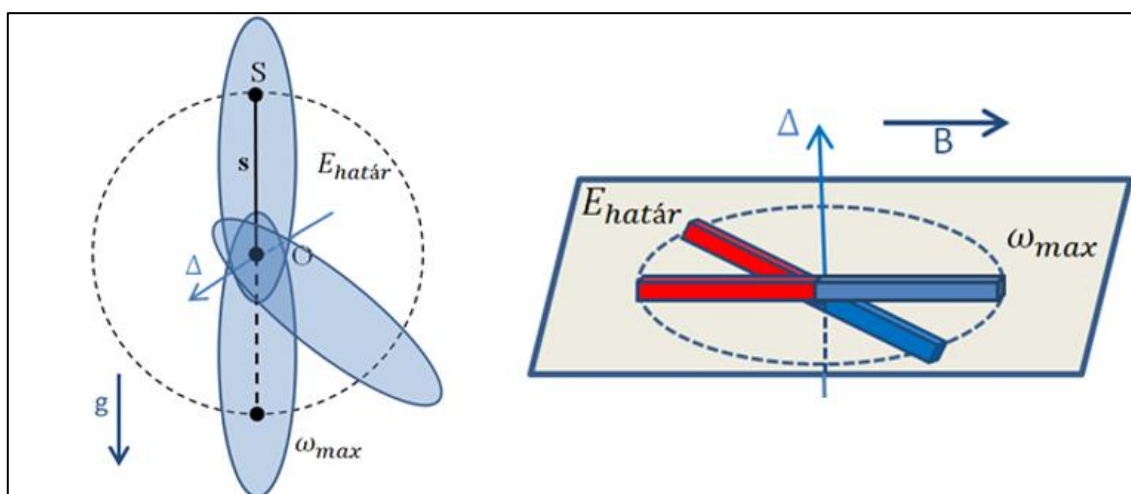


44. ábra Az elrendezés megvalósítása iránytűvel és Helmholtz-tekerccsel

Írjuk fel az x szög függvényében a fonálinga E_i és az iránytű E_d energiáját! Legyen mindkét esetben a helyzeti energia viszonyítási szintje a stabil nyugalmi helyzetnek megfelelő energia [27]!

$$(3) E_i = \frac{1}{2} \Theta_i \cdot \omega^2 + m\ell \cdot g \cdot (1 - \cos x) \quad E_d = \frac{1}{2} \Theta_d \cdot \omega^2 + \mu \cdot B \cdot (1 - \cos x).$$

A fenti analóg mennyiségeket használva látjuk, hogy a két rendszer energetikai szempontból is egyenértékű. A középiskolai oktatásban az analógikus gondolkodás kiemelt jelentőségű, hiszen segíti az új szituáció megértését. egy-egy magyarázat és problémamegoldás ismert fogalmakra épülhet [34] [35]. Lásd még a 45. ábrát a mozgások analógiájának szemléltetéséhez.



45. ábra Az ingamozgás és iránytűmozgás analógiája: a stabil és az instabil helyzetek

Használjuk az 5.1. részben megismert analóg egyenleteket az x_0 kezdeti szögkitéréssel és ω_0 kezdeti szögsebességgel elindított, meghatározott energiájú mozgások elemzésére a szög-szögsebesség fázissíkon! Az (1) és (2) mozgásegyenletekkel leírt, az előbbi analóg mennyiségekkel egymásnak megfelelőített rendszerek az alábbi dimenziótlan egyenlettel modellezhetőek:

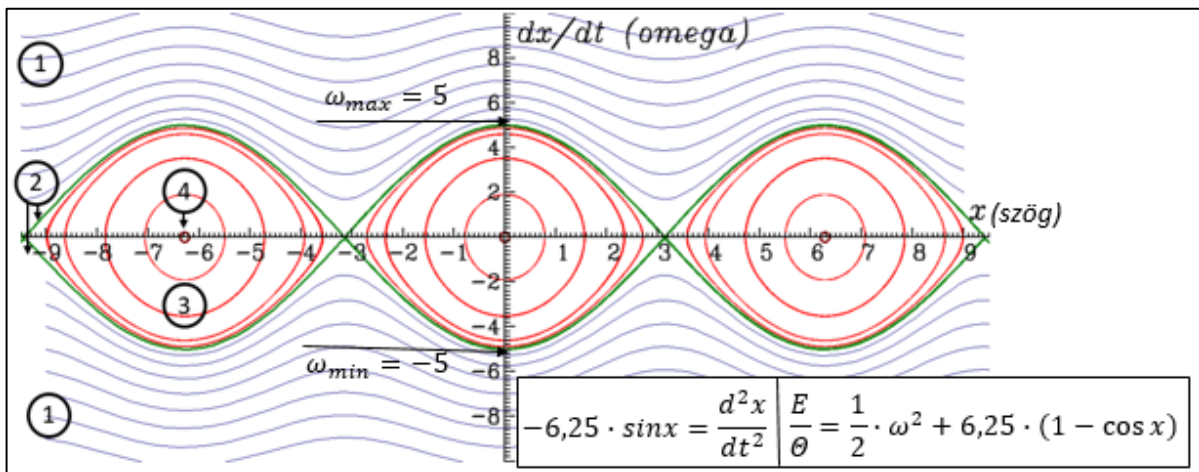
$$(4) -b \cdot \sin x = d^2x/dt^2$$

A mozgásegyenletek dimenziótlanításának részleteit lásd a 6.2. részben. A (4) dimenziótlan matematikai egyenlettel leírt rendszerek időbeli fejlődését a továbbiakban a Dynamic Solver ingyenesen letölthető számítógépes programmal követjük [36].

Miután kiválasztjuk a numerikus módszert, a független és függő változókat, amely a kezdeti feltételek x_0 , ω_0 és a b paraméter-érték megadása után, Δt dimenziótlan időközönként kiszámítja az $x_i = x(t_0 + i \cdot \Delta t)$ és ω_i sorozat tagjait.

Itt $i = 1, 2, 3, \dots$ [36] [37], valamint $dx/dt = \omega$ a szögsebesség és $d^2x/dt^2 = \beta$ a szöggyorsulás. Így egy szög és egy szögsebesség-sorozathoz jutunk. Ezeket felhasználva választhatunk ábrázolási módot. Először a szög-szögsebesség fázissíkon ábrázoljuk, majd elemezzük a különböző kezdőfeltételekkel indított mozgásokat.

Az egyszerűség kedvéért a gondolatmenetet az iránytűvel folytatjuk. Ez esetben (2) és (4) összehasonlításával a paraméter $b = \frac{\mu \cdot B}{\Theta_d}$. Lásd még az 6.2. részt. A 46. ábrán b értéke 6,25.



46. ábra Homogén mágneses térben mozgó, különböző kezdeti feltételekkel indított iránytű görbéi a fázissíkon

A 46. ábra ② görbéje két tartományra osztja a fázissíkot. Ez esetben az iránytű energiája az instabil egyensúlyi helyzet helyzeti energiájával egyezik meg. A stabil egyensúlyi helyzeten $2 \cdot \sqrt{b} = 5$ maximális szögsebességgel halad át, az E/Θ dimenziótlanított hányados értéke 12,5 lesz. Itt \sqrt{b} az iránytű saját körfrekvenciája. Az ennél abszolút-értékben nagyobb energiájú kezdőfeltételekkel indítva az iránytű átforduló mozgást végez. Ilyenek az ① tartomány görbéi, amelyek 2π periodikusak, nem zártak.

Az iránytű rezgőmozgást végez a homogén tér körül, ha energiája kisebb, mint az instabil állapot energiája. Az ezt leíró ③ tartomány a fázissík $0, \pm 2\pi, \pm 4\pi \dots$ abszcisszájú és 0 ordinátájú pontjai körüli zárt görbék halmaza. A tartománybeli anharmonikus rezgőmozgásokat

ellipszisek ábrázolják. Esetükben a periódusidő nő az amplitúdóval. A ④ tartományban maximum 5 fokkal, kezdeti szögsebesség nélkül indítva közelítőleg köröket kapunk. Ez a harmonikus rezgőmozgások tartománya.

A szög-szögsebesség fázissík ábráival a középiskolában megszokott harmonikus rezgések tartományánál jóval több mozgástípust be lehet mutatni a diákoknak és szemléltethető a harmonikus rezgések kivételes jellege is (6. táblázat).

Tartomány/ Görbe	Mozgás	E/Θ	Kezdőfeltételek	
			x_0	ω_0
① Periodikus	Átfordulás	$2\sqrt{b}$ fölött $-2\sqrt{b}$ alatt	9 -9	9; 8; 7; 6; 5; 4; 3; 2 -9; -8; -7; -6; -5; -4; -3; -2
② Elválasztó	Aszimptot. megköz.	$\pm 2\sqrt{b}$	$-3\pi; 3\pi$	0
③ Zárt periodikus	Anharmonikus	rezgés $2\sqrt{b}$ és $-2\sqrt{b}$ között	$\pm 9; 9 - 2\pi; \frac{\pi}{4}; \frac{\pi}{4} \pm 2\pi; \frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2} \pm 2\pi; \frac{3\pi}{4}; \frac{3\pi}{4} \pm 2\pi$	0
④ Kör	Harmonikus		$5 \frac{2\pi}{360}; 5 \frac{2\pi}{360} \pm 2\pi$	0

6. táblázat A 46. ábra görbéinek osztályozása a mozgástípusok alapján, a görbék energiája és kezdőfeltételei

5.2. A mozgásegyenletek dimenziótlanítása

Mivel a megvalósítható kísérleti elrendezések drágák, ráadásul nehéz a mérési adatok gyűjtése és elemzése is, ezért szándékunkban állt iterációs szoftverrel követni az (1) és a (2) mozgásegyenletű rendszerek mozgását. Mindezek miatt nem kerülhető el az egyenletek dimenziótlanítása, hiszen a számítógép dimenziótlan paraméterekkel, független és függő változókkal dolgozik. Később a forgó, valamint az összetett térben mozgó rendszerek leírására is az ugyanezzel az eljárással készült dimenziótlan alakokat használjuk.

Vezessük be a dimenziótlan „időt”:

$$(5.1.) \varphi = \Omega \cdot t,$$

ahol Ω a forgó mágneses tér körfrekvenciája (ez az iránytű és a mágneses tér esetében a váltóáram körfrekvenciája).

Vegyük figyelembe hogy

$$(5.2.) \frac{dx}{dt} = \frac{dx}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \frac{dx}{d\varphi} \cdot \Omega$$

és

$$(5.3.) \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d^2x}{d\varphi^2} \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{d^2x}{d\varphi^2} \cdot \Omega^2,$$

Ezzel a dimenziótlan mozgásegyenletek a mágneses tér konzervatív eseteiben:

- homogén térben

$$(6.1.) -\mu \cdot B_1 \cdot \sin x = \theta_c \cdot \Omega^2 \cdot \frac{d^2x}{d\varphi^2},$$

- forgó térben (inerciarendszerből)

$$(6.2.) -\mu \cdot B_0 \cdot \sin(x - \varphi) = \theta_c \cdot \Omega^2 \cdot \frac{d^2x}{d\varphi^2},$$

- összetett térben

$$(6.3.) -\mu \cdot B_1 \cdot \sin x - \mu \cdot B_0 \cdot \sin(x - \varphi) = \theta_c \cdot \Omega^2 \cdot \frac{d^2x}{d\varphi^2}.$$

A veszteséges összetett térben mozgó rendszer esetében:

$$(6.4.) -\gamma \cdot \Omega \cdot \frac{dx}{d\varphi} - \mu \cdot B_1 \cdot \sin x - \mu \cdot B_0 \cdot \sin(x - \varphi) = \theta_c \cdot \Omega^2 \cdot \frac{d^2x}{d\varphi^2}$$

Az egyenlet rendezése után kapjuk, hogy

$$(6.5.) -\frac{\gamma}{\theta_c \cdot \Omega} \cdot \frac{dx}{d\varphi} - \frac{\mu \cdot B_1}{\theta_c \cdot \Omega^2} \cdot \sin x - \frac{\mu \cdot B_0}{\theta_c \cdot \Omega^2} \cdot \sin(x - \varphi) = \frac{d^2x}{d\varphi^2}$$

Az

$$(7.1.) a = \frac{\gamma}{\theta_c \cdot \Omega}, \quad (7.2.) b = \frac{\mu \cdot B_1}{\theta_c \cdot \Omega^2} \quad \text{és} \quad (7.3.) c = \frac{\mu \cdot B_0}{\theta_c \cdot \Omega^2}$$

dimenziótlan paramétereket bevezetve kapjuk a számítógépes szimulációkban használt mozgásegyenleteket. A konzervatív esetekben

- homogén térben

$$(8.1.) -b \cdot \sin x = \frac{d^2x}{d\varphi^2}$$

-forgó térben

$$(8.2.) -c \cdot \sin(x - \varphi) = \frac{d^2x}{d\varphi^2}$$

- összetett térben

$$(8.3.) -b \cdot \sin x - c \cdot \sin(x - \varphi) = \frac{d^2x}{d\varphi^2}$$

Valamint a veszteséges esetben, összetett tér esetén:

$$(8.4.) -a \cdot \frac{dx}{d\varphi} - b \cdot \sin x - c \cdot \sin(x - \varphi) = \frac{d^2x}{d\varphi^2}$$

A fenti egyenletekben a következő jelöléseket használtuk:

γ = a folyadék viszkozitása (amelyben forog az iránytű tengelye)

θ_c = az iránytű tehetetlenségi nyomatéka

Ω = a forgó mágneses tér körfrekvenciája (vagy a váltóáramé)

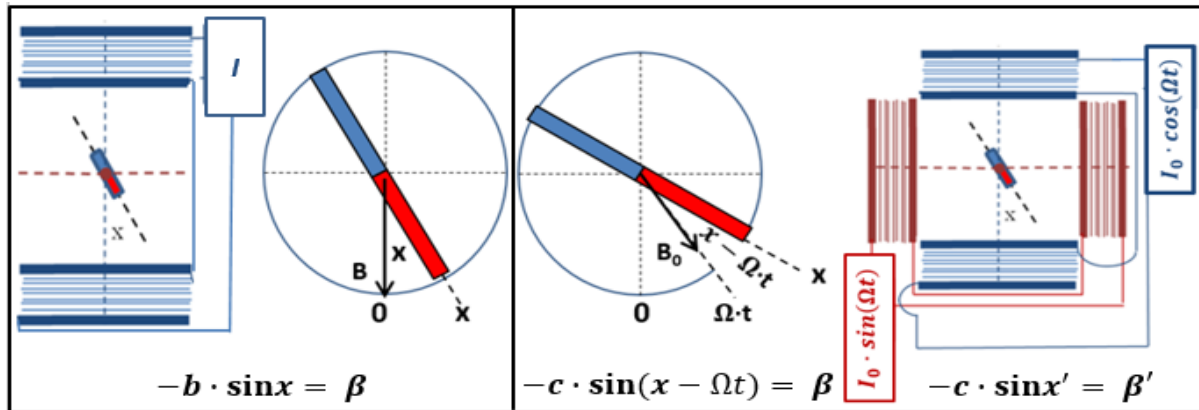
μ = a mágneses dipólmomentum

B_1 = a homogén, nyugvó mágneses tér mágneses indukciója

B_0 = a homogén, forgó mágneses tér mágneses indukciója

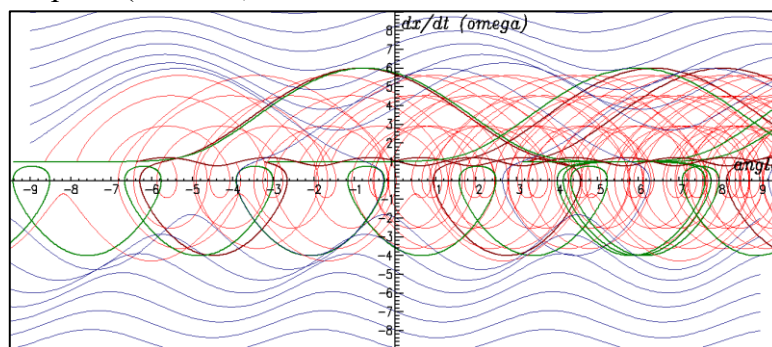
5.3. Iránytű csillapítatlan mozgásai forgó mágneses térben

Helyezzünk el két Helmholtz-tekercest egymásra merőlegesen (47. ábra, jobb oldali kép)! Tápláljuk a tekercseket egymáshoz képest $\frac{\pi}{2}$ fázissal eltolt Ω körfrekvenciájú áramokkal: $I_0 \cdot \cos(\Omega t)$, $I_0 \cdot \sin(\Omega t)$ -vel. Ezzel Ω körfrekvenciájú forgó mágneses teret hozunk létre. A 47. ábrán a jelölt mennyiségek (\vec{B} és x a bal oldali ábrán, \vec{B}_0 és $x - \Omega t$ a jobb oldalin) segítenek megérteni, miért lesz a tekercsek tengelyének metszéspontjába helyezett iránytű mozgásegyenlete hasonló alakú, mint amikor egyetlen Helmholtz-tekercs homogén terébe helyezzük! A rendszer mozgásegyenlete inerciarendszerről (8.2) $-c \cdot \sin(x - \Omega t) = \beta$.



47.ábra Iránytű felülnézeti képe homogén- (bal oldali kép) és forgó mágneses térben (jobb oldali kép)

A 6. táblázat kezdőfeltételeivel indított forgó mágneses térbeli iránytűmozgásokat, ha inerciarendszerről ábrázoljuk az $(dx/dt = \omega - x)$ szögsebesség-szög fázissíkon, akkor nehezen elemezhető képet kapunk (48. ábra).

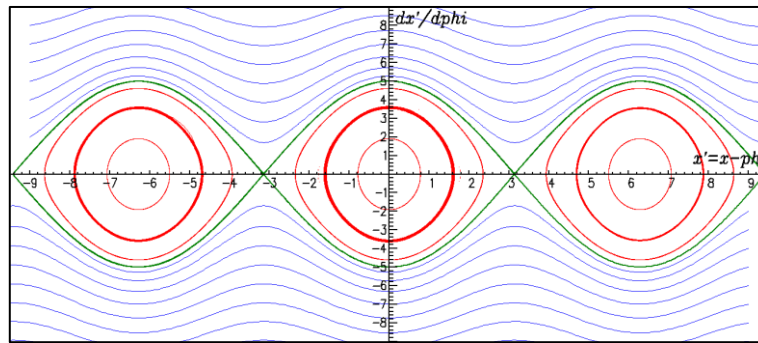


48. ábra A 6. táblázat kezdőfeltételeivel indított, iránytűmozgások ábrázolása inerciarendszerről, forgó mágneses térben, a szög-szögsebesség fázissíkon

Azonban az $x' = x - \Omega t$ helyettesítéssel a forgó mágneses térben mozgó iránytű mozgásegyenlete analóg lesz a homogén mágneses térben mozgó iránytű (2) mozgásegyenletével: $-c \cdot \sin x' = \beta'$.

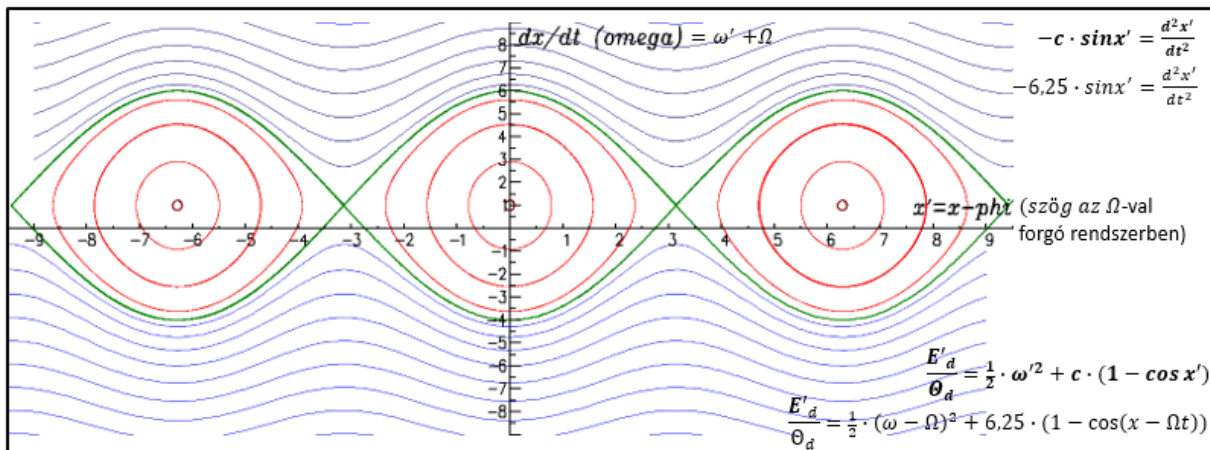
Itt $\omega' = \frac{dx'}{dt} = \frac{dx}{dt} - \Omega \cdot \frac{dt}{dt} = \omega - \Omega$ és $\beta' = \frac{d\omega'}{dt} = \frac{d(\omega - \Omega)}{dt} = \frac{d\omega}{dt} = \beta$, ahol (7.3) szerint $c = \frac{\mu \cdot B_0}{\Theta_d}$.

Mindezek miatt a 6. táblázat kezdőfeltételeivel indított forgó mágneses térbeli iránytűmozgásokat, ha a forgó mágneses térhez rögzített rendszerből nézzük, majd ábrázoljuk a forgó rendszerbeli $(dx'/dt - x')$ szögsebesség-szög fázissíkon, akkor a 46. ábrával megegyező képet kapunk (49. ábra).



49. ábra A 6. táblázat kezdőfeltételeivel indított, iránytűmozgások ábrázolása, forgó mágneses térben, a térhez rögzített koordináta-rendszerből a szög-szögsebesség fázissíkon

Mivel a tehetetlenségi erők ez esetben sugárirányúak, érdemes az Ω -val forgó koordináta-rendszerből leírt iránytűmozgásokat a „vegyes” ($\frac{dx}{dt} = \omega - x'$) inerciarendszerbeli szögsebesség – forgórendszerbeli szög fázissíkon ábrázolni. Az iránytű-mozgások elemzése így egyrészt visszavezethető a nyugvó rendszerből leírt, homogén mágneses térben mozgó iránytű mozgásának elemzésére, másrészt az egyetlen különbséget az $\omega = \omega' + \Omega$ összefüggés miatti függőleges Ω -val való eltolás jelenti (50. ábra).



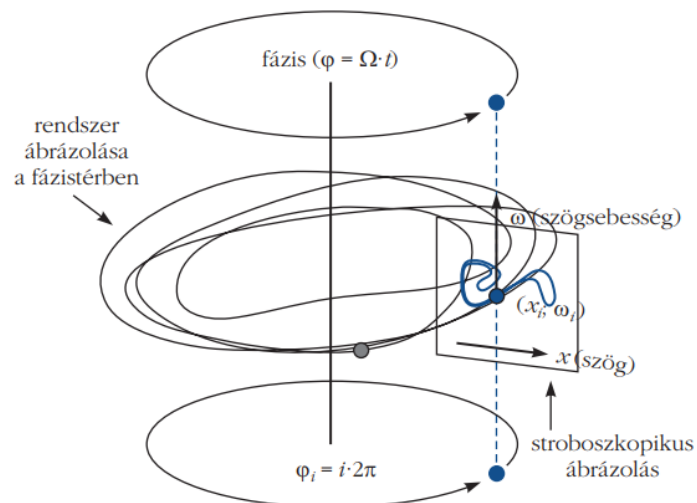
50. ábra Forgó mágneses térben mozgó, különböző kezdeti feltételekkel indított iránytű görbéi, a forgó mágneses térhez rögzített koordináta-rendszerben

5.4. Iránytű csillapítatlan mozgásai összetett mágneses térben

Ha a forgó mágneses teret létrehozó első Helmholtz-tekercsbe még egy állandó áramot is vezetünk, akkor egy forgó- és egy homogén mágneses tér együtt lesz jelen. Az iránytű mozgásegyenlete ekkor: (8.3) $-b \cdot \sin x - c \cdot \sin(x - \Omega \cdot t) = d^2x/dt^2$.

Érdekes e mozgás követésére kihasználni a gerjesztés periodicitását és az (5.1) $\varphi = \Omega \cdot t$ fázist bevezetni! Ezzel az $(x; \omega; \varphi)$ fázistérben a mozgást ábrázoló görbe követéséről áttérhetünk az ugyanolyan φ fázisú pontok ábrázolására.

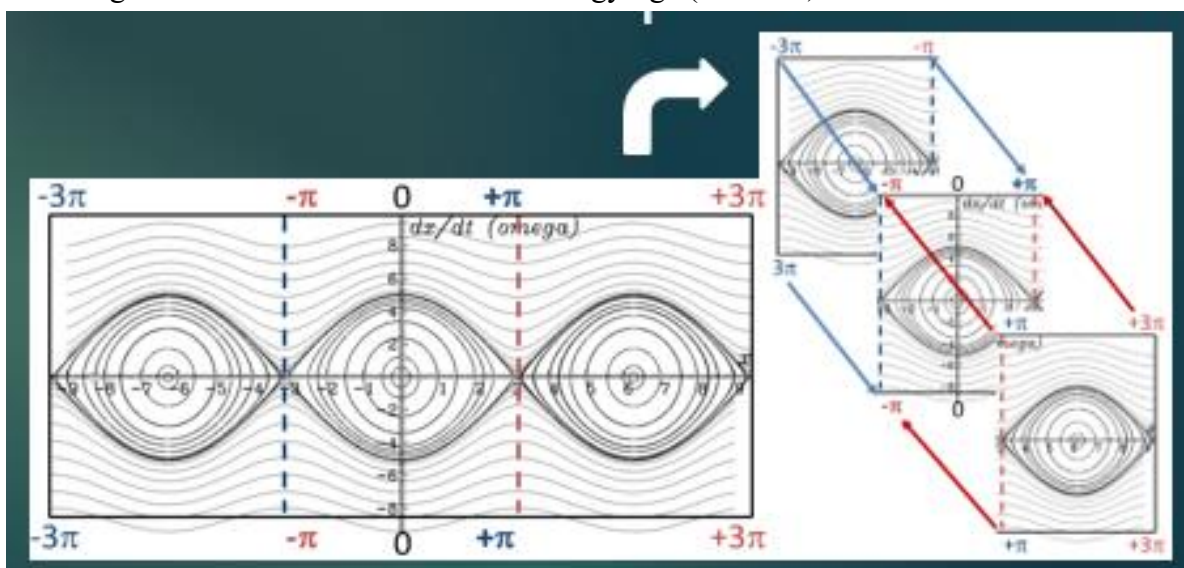
Az $(x(0); \omega(0))$, $(x(2\pi); \omega(2\pi))$, $(x(i \cdot 2\pi); \omega(i \cdot 2\pi))$ pontsorozattal azonos fázisokban, stroboszkopikusan követjük a mozgást. (51. ábra).



51. ábra

A stroboszkopikus leképezés alap gondolata

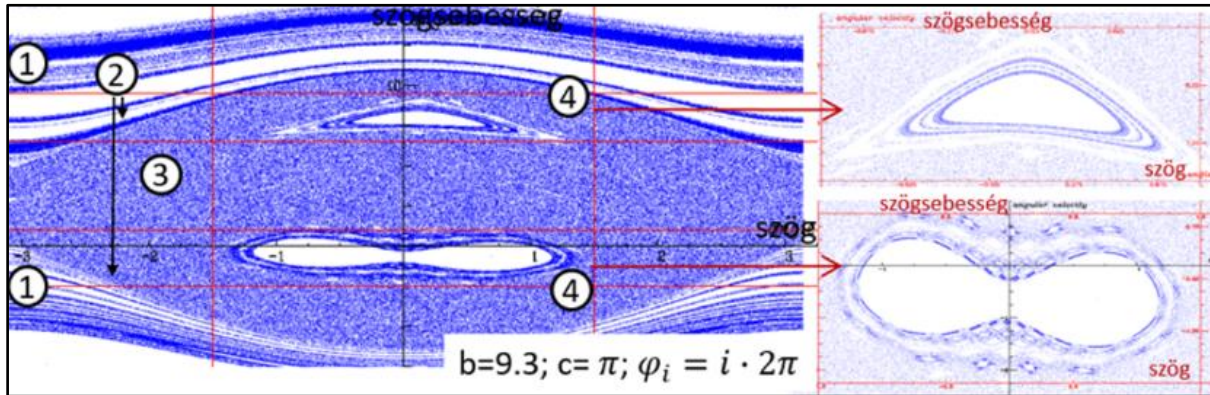
Érdekes még a középső $[-\pi, +\pi]$ szög-intervallumra betömöríteni a mozgás ábrázolását, ezzel megnövelhető az kiértékelhető felület nagysága (52. ábra).



52. ábra

A stroboszkopikus leképezés betömörítése a középső $[-\pi, +\pi]$ szög-intervallumra

Az 53. ábrán egy forgó- és egy homogén mágneses térbe helyezett iránytű stroboszkopikus leképezését látni. Felismerhető a 44. ábra átforduló ① és rezgő ③ tartományai, valamint az ezeket elválasztó ② görbe. A megadott paraméterértékek mellett az iránytű mozgása kiszámíthatatlanná válik. Ez azt jelenti, hogy az iránytű hol a homogén tér, hol a forgó tér hatását követi [5]. A felső ④ tartomány a forgó, az alsó ④ tartomány a homogén mágneses tér körüli rezgéseket ábrázolja.



53. ábra Iránytű összetett mágneses térbeli mozgásának stroboszkopikus ábrázolása
($b = 9,3$; $c = \pi$; $\phi_i = i \cdot 2\pi$).

6. Iránytű kaotikus mozgása

Az összetett mágneses térben csillapítás hatására létrejövő iránytű-mozgás kaotikussá válhat. A kaotikus mozgások megtalálásához olyan paraméterértékeket kellett keresni, amikor a determinisztikus káoszt jelző kaotikus attraktorok megjelennek a stroboszkopikus leképezéseken. A paraméterértékek változtatásával kapott stroboszkopikus leképezések látványos feldolgozására nyújt lehetőséget a diákok javasolta leképezés-videó elkészítése.

A diákokkal való közös munka során született az ötlet, hogy a szisztematikusan elkészített leképezések, mint filmkockák összefűzésével videó készíthető. E videó segítségével kényelmesebben fel lehetett térképezni a kaotikus tartományok paraméter-értékeit. Ennek ismeretében könnyebb elemezni a kaotikus attraktorokat, valamint a kaotikus paraméter-tartományokhoz vezető utakat.

A kaotikus attraktorok jellemzése, a káoszhoz vezető út elemzése és leírása a determinisztikus káosz kutatásának gyümölcsöző fejezetei, a kaotikus mozgások pedagógiai alkalmazásai nem előzmény nélküliek. Lásd Nagy Péter és Jaloveczki József Doktori értekezését [38] [39] vagy [30].

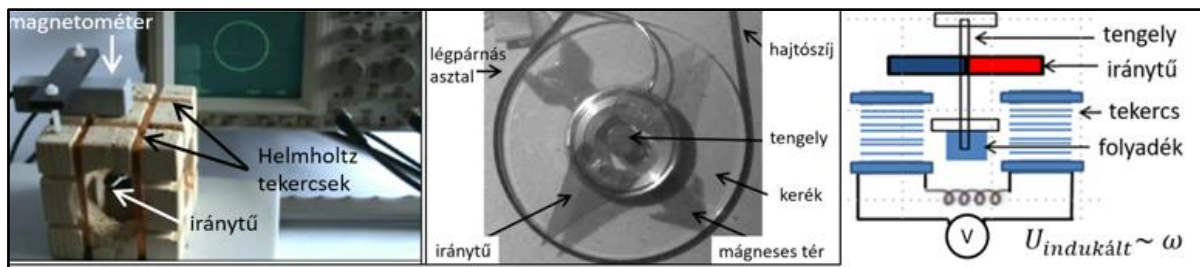
Jóllehet a témakör feldolgozása túlmutat a középiskolás fizika tananyag keretein, az összetett mágneses térben csillapítás hatására létrejövő kaotikus attraktorok kontrollparamétereinek megtalálása mégis népszerű projektnek bizonyult a tanulók körében. A téma kidolgozása megfelelő előkészítés után igazi felfedezés tanár és diák számára egyaránt.

6.1. Iránytű csillapított rezgései összetett mágneses térben

Az iránytű tengely körüli forgásból származó energiavesztés általában nem elhanyagolható. Ennek mértéke szabályozható, ha az iránytű tengelye γ viszkozitású folyadékba merül. A folyadék fékező hatását az iránytű pillanatnyi szögsebességével arányos nyomatékkal vehető figyelembe ($a = \gamma/\Theta$), amellyel a dimenziótlan mozgásegyenlet:

$$(8.4) - a \cdot dx/dt - b \cdot \sin x - c \cdot \sin(x - \varphi) = d^2x/dt^2.$$

A megvalósított kísérleti elrendezések a mágneses indukció közvetlen mérésén (54. ábra, bal oldali kép) vagy nagyfelbontású kamera képanalízisen (54. ábra, középső kép) illetve az iránytű szögsebességével arányos indukált feszültség mérésén alapszanak (54. ábra, jobb oldali kép) [40] [41] [42] [43].



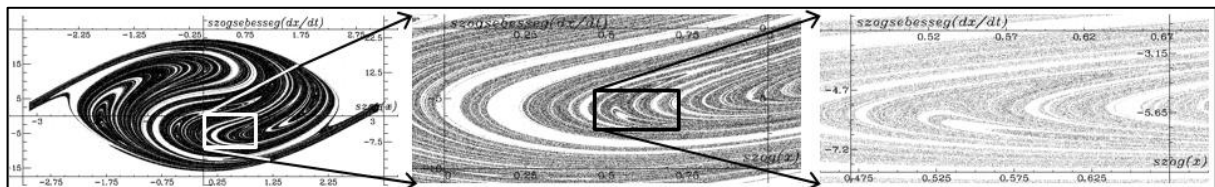
54. ábra

Iránytű mozgásának vizsgálata különböző kísérleti elrendezésekkel

Az olyan háromdimenziós fázisterű, csillapított dinamikai rendszer mozgása, mint az összetett mágneses térrel gerjesztett iránytű, kaotikussá válhat. A kaotikus mozgásokat a kezdőfeltételekre érzékeny fázistérbeli pályák mellett, a stroboszkopikus leképezésen megjelenő kaotikus attraktornak nevezett fraktálszerkezetű fázistérbeli halmaz is jellemzi. A kaotikus attraktor a fázistér bármely tartományából indított mozgások stroboszkopikus képét magához vonzza. Ezért a mozgást tetszőleges kezdőfeltételekkel indítva, elegendően hosszú ideig követve azokat a kaotikus attraktorhoz érünk.

Az alábbi ábrákon a leképezéseket az a , b , c dimenziótlan paraméterek és az $x_0 = 0,1$; $\omega_0 = 1$ dimenziótlan kezdőfeltételek megadásával kaptuk. Az abszcisszákon a szög értékei $-\pi$ és π között, az ordinátákon a szögsebesség értékek az 56., az 58. és az 60. ábrákon -15 és 20 között változhatnak.

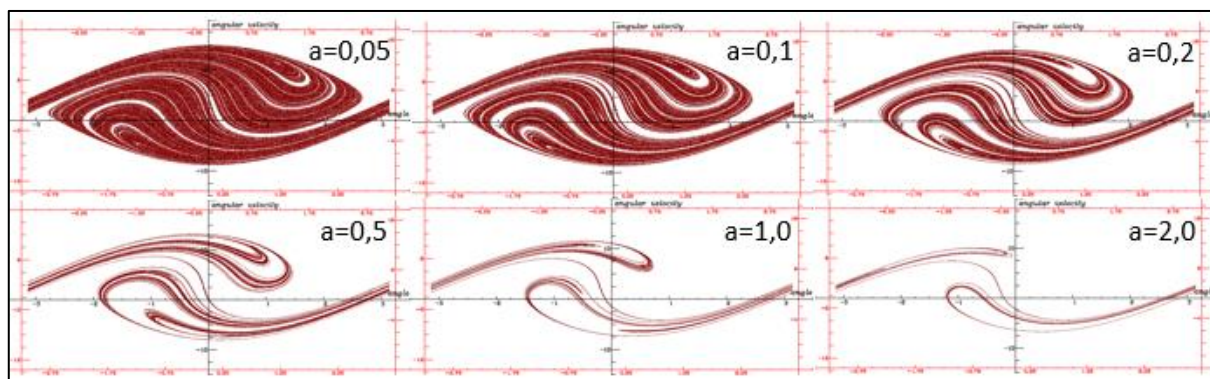
Az 55. ábra kaotikus attraktort mutat az $a = 0,1$, $b = 39$ és $c = 49$ paraméterértékek mellett. A bal oldali ábra szögsebesség értékei -17,5 és 22,5 között változnak. Jobbra haladva a megelőző ábra téglalapjának kinagyítása látható, jobban kiemelve az attraktor szerkezetének ön hasonlóságát, azaz fraktál-szerkezetét.



55. ábra

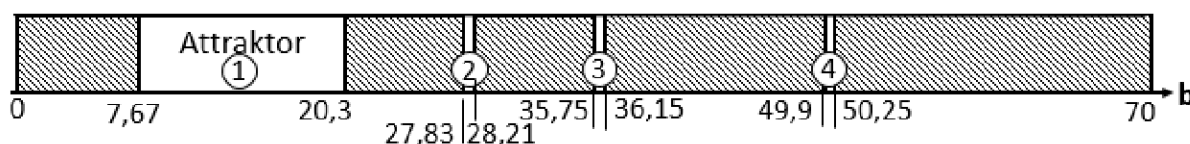
*Kaotikus attraktor stroboszkopikus leképezésen
(vesztéses iránytű összetett mágneses térben)*

Az 56. ábrán a viszkozitás növelésének hatását az a dimenziótlan paraméter növelése szimulálja, a b és a c paraméter-értékek rögzítése mellett. Látható, hogy megjelenik az önhasznó fraktál-struktúra, majd a veszteség növelésével a kaotikus attraktor a fázissík egyre kisebb részére húzódik vissza. A veszteség növelésénél hatására az attraktorhoz tartozó maximális szögsebesség értéke és a belső tartomány maximális szögének értéke is lecsökken.



56. ábra A viszkozitás változtatásának hatása a stroboszkopikus leképezésre ($b=15$, $c=15$)

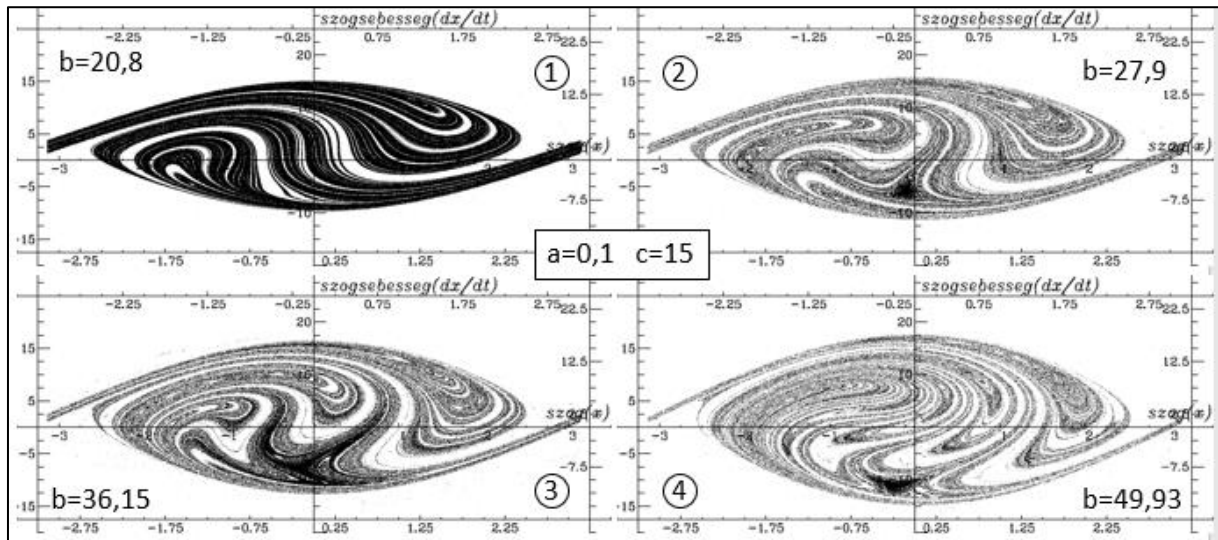
Rögzítsük a veszteség mértékét jelző a paraméter értékét 0,1-re és a forgó mágneses teret jellemző c paraméter értékét 15-re! Növeljük az álló mágneses tér erősségét jellemző b paraméter értékét 0-tól 70-ig! Ezen mozgások stroboszkopikus képe az attraktor megjelenése alapján két csoportba osztható. Az 57. ábra satírozott intervallumainak b paraméterértékei mellett nem jelenik meg kaotikus attraktor, míg az ①②③④ intervallumok b paraméterértékei mellett megjelenik attraktor.



57. ábra Az álló mágneses teret jellemző b paraméter változásának hatása a kaotikus attraktor megjelenésére

A $b=0$ -tól 7,67-ig terjedő intervallumban, ahol a forgó mágneses tér domináns az állóhoz képest, a stroboszkopikus képen nem alakul ki attraktor. Az $7,67 \leq b \leq 50,25$ intervallumban négyszer is felbukkan a kaotikus attraktor. Az 57. ábra képein e négy intervallumból választott $b=20,8$, $b=27,9$, $b=36,15$ és $b=49,93$ -nál létrejövő kaotikus attraktorok láthatóak a stroboszkopikus leképezéseken. A $b=50,25$ -nél nagyobb b értékekre az álló mágneses tér dominanciáját kifejező intervallum található, ahol újra eltűnik az attraktor.

Az 58. ábrán látható attraktorok esetében az álló mágneses tér paraméterének $b=20,8$ -ról $b=49,93$ -ra növelése a $[-9; 15]$ szögsebesség tartomány $[-15; 17,5]$ -re szélesedését eredményezi.



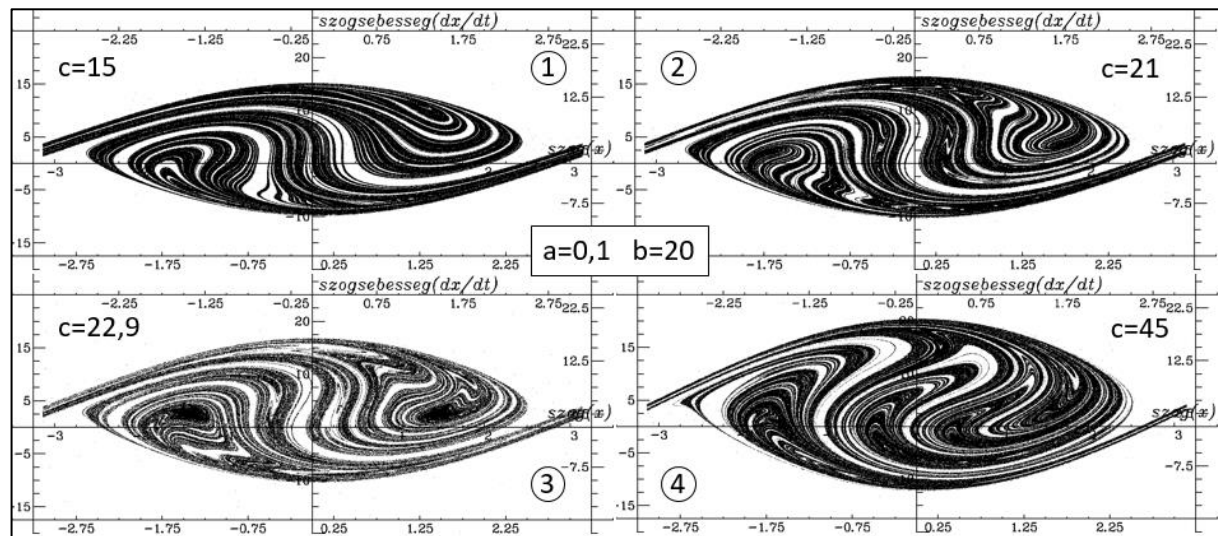
58. ábra Kaotikus attraktorok különböző b paraméterértékeknél ($a=0,1$ és $c=15$)

Az 58. ábrán az $a = 0,1$, $b = 20$ paraméter-értékeket rögzítve, a forgó mágneses teret jellemző c paraméter-érték változásának hatása figyelhető meg $c=0$ -tól 70-ig. A satírozott intervallumok c paraméterértékei mellett, ahol az álló mágneses tér domináns a forgóhoz képest, nem jelenik meg kaotikus attraktor. Az ①②③④ intervallumok c paraméterértékei mellett megjelenik attraktor, majd 58,4-nél nagyobb c értékekre eltűnik, ahol a forgó tér dominanciája érvényesül már.



59. ábra A forgó mágneses teret jellemző c paraméter változásának hatása a kaotikus attraktor megjelenésére

A 60. ábra képein e négy intervallumból választott $c=15$, $c=21$, $c=22,9$ és $c=58,4$ -nál létrejövő kaotikus attraktorok láthatóak a stroboszkopikus leképezéseken. Ez esetben a forgó mágneses tér $c=15$ -ről $c=45$ -re növelése a $[-9; 15]$ szögsebesség tartomány $[-12,5; 20]$ -ra szélesedését eredményezi.



60. ábra Kaotikus attraktorok különböző c paraméterértékeknél ($a=0,1$ és $b=20$)

6.2. Alkalmazások a fizikatanításban

Az iránytű mozgásának leírása mind a homogén, mind a forgó, mind az összetett mágneses térben több pedagógiai szempontból érdekes alkalmazást tesz lehetővé, amelyet az 61. ábra foglal össze.

IRÁNYTŰ KÜLÖNBÖZŐ MÁGNESES TEREKBEN		
CSILLAPÍTATLAN MOZGÁS HOMOGEN TÉRBEN Köráram Mágneses dipól-momentum Helmholtz-tekercs építése	Inga-iránytű analógia Mozgástípus függése az energiától Szög-szögsebesség tázissík Dynamic Solver	CSILLAPÍTATLAN MOZGÁS FORGÓ TÉRBEN Forgó koordinátarendszer Két Helmholtz-tekercs építése
CSILLAPÍTATLAN MOZGÁS ÖSSZETETT TÉRBEN Véletlenszerűség	Stroboszkopikus leképezés Két Helmholtz-tekercs építése	CSILLAPÍTOTT MOZGÁS ÖSSZETETT TÉRBEN Determinisztikus káosz Kaotikus attraktor Fraktál-szerkezet

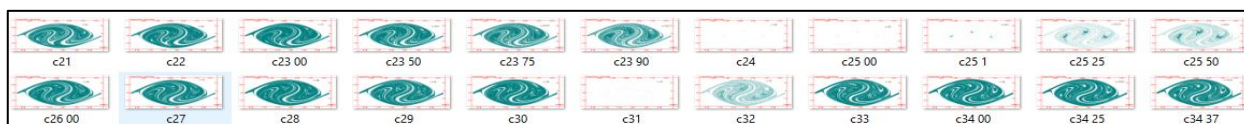
61. ábra Iránytű különböző mágneses terekben: lehetséges pedagógiai alkalmazások

A homogén mágneses térbe helyezett köráramra ható forgatónyomaték, illetve a köráram- és rúd-mágnes mágneses terének azonossága a középiskolai fizikatanítás része. Ezeken alapszik a mágneses dipól-momentum bevezetése majd az inga-iránytű analógia is. Az energia megmaradás tételén alapszik a mozgástípus és az energia összefüggésének szög-szögsebesség fázis-síkbeli ábrázolása. Ez az ábrázolási mód az absztrakt gondolkodás fejlesztése mellett, jó alkalmat nyújt a harmonikus rezgőmozgás kivételes voltának szemléltetésére és a fizika más területeinek bevonására [44]. A Helmholtz-tekercs alkalmazása lehetővé teszi e mozgások megfigyelését [41] [43].

Az iránytű súrlódásmentes mozgásának leírása forgó mágneses térben elegáns példáját adja a koordináta-rendszerek közötti áttérésre. Ez jó alkalmat nyújt forgó koordináta-rendszer használatára.

Az összetett mágneses tér alkalmazása egyrészt a stroboszkopikus leképezés bevezetésére nyújt lehetőséget, másrészt a véletlenszerű iránytűmozgás feltételeinek megkeresésével izgalmas szakköri feldolgozásra nyújt lehetőséget [40].

A szakkörön született meg, rengeteg stroboszkopikus leképezés elkészítése után, egy új ábrázolási mód alapötlete. Elkészült egy olyan video, amelynek minden egyes képkockája egy-egy szisztematikusan elkészített stroboszkopikus leképezés. Az alapötlet lényege, hogy két érdekes paraméter értékét rögzítjük (például az a paraméter értékét 0.1-re és a c paraméter értékét 49-re rögzítjük) majd a harmadik, itt a b paraméter értékét 0 és 100 között egyesével változtatjuk. Minden 0 és 100 közötti egész b paraméter-értéknél készítünk egy-egy stroboszkopikus leképezést (62. ábra).



62. ábra Stroboszkopikus leképezések, mint video-képkockák

Ha kaotikus attraktor jelenik meg valamelyik b értéknél, akkor ott részletesebb vizsgálat következik. Végül az elkészült stroboszkopikus leképezéseket, b szerinti nagyság szerint növekvő sorrendben össze kell fűzni, majd le kell játszani. Erre a célra mi a Windows Movie Maker video-szerkesztő programot használtuk. Az eredményeket az 57. és a 60. ábrán megismert számegyenesen foglaltuk össze. Egy ilyen számegyenesen könnyen megtalálhatók, majd ezután részletesebben is elemezhetők a különböző érdekesnek tartott tartományok. A videó azért hasznos, mert jól mutatja az egymás utáni, tehát köyeli paraméter-értékekkel készült stroboszkopikus képek közötti különbséget. Segíthet annak a kérdésnek az eldöntésében, hogy a kaotikusnak tűnő ábrák szerkezetében milyen változás következik be a paraméter-érték változtatása során az ábra. Ezt vagy matematikai elemzéssel vagy vizualisan a videoval lehet pl. megtenni. Lásd a b paramter-érték változtatásával kapott leképezés-videót: <https://youtu.be/6yKqJNVv9IA>.

Ami a kaotikus mozgások pedagógiai alkalmazásait illeti nem előzmény nélküliek [45] [46] [47]. A determinisztikus káosz, a kaotikus attraktor vagy a fraktálok vizsgálata igen kedvelt terület nem csak a fizikát kedvelők körében [48] [49]. A kaotikus attraktorok jellemzése, a káoszhoz vezető út elemzése és leírása a determinisztikus káosz kutatásának gyümölcsöző fejezetei. Az összetett mágneses térben csillapítás hatására létrejövő kaotikus attraktorok kontrollparamétereinek megtalálása, megfelelően előkészítés után és projektmunka keretében, igazi felfedezés lehet tanár és diák számára egyaránt [50].

Összegzés

Három különböző térben írtunk le inga- illetve iránytű-mozgásokat. Analóg mennyiségeket bevezetve beláttuk, hogy mindkét rendszer ugyanolyan differenciál-egyenletekkel írható le. A 63. ábra összefoglalja a részletesebben kidolgozott négy témát (színes panelek) és az érintett fontosabb témaköröket (fehér betűkkel).



63. ábra

*A négy részletesebben kidolgozott témák (színes panelek)
és az érintett fontosabb témakörök (fehér betűkkel)*

Ami a fizikatanítás metodológiáját illeti, az inga-iránytű analógiát mindvégig előtérbe helyeztük, egyrészt, mert a projektekben részt vevő diákok már ismerték a fonálinga harmonikus rezgésének leírását, másrészt így a mágneses tér leírására használt mennyiségek bevezetése könnyebbé vált.

Bontott osztályokkal dolgozva, tanórai csoportos tevékenységi formát választottunk a Helmholtz-tekercek előállítására. Az elkészített tekercsekkel a homogén mágneses térben mozgó iránytű esetét sikerült megvalósítani.

A forgó és összetett terekben mozgó iránytű vizsgálatára projekteket szerveztünk, ahol a diákok önállóan, illetve 2-3 fős csoportokban tanári irányítás mellett dolgoztak. A mozgások követésére, a paraméter-értékek változtatásához a Dynamics Solver ingyenesen letölthető szoftvert használtuk [36]. A mozgásegyenletek dimenziótlanítása valamint a dimenziótlanítás utáni paraméterek jelentésének értelmezése tanári előkészítést igényelt.

A mozgások követésére és elemzésére kétféle ábrázolási módot a szög-szögsebesség fázissíkot valamint a stroboszkopikus leképezést használtuk. Ez utóbbi segítségével, a diákok ötlete alapján, video is készült a disszipatív, összetett térben lefolyó mozgás kaotikus tartományainak megtalálására és tanulmányozására.

A javasolt témák, életkorok, a résztvevők létszáma és a tevékenységi formák összefoglalása a 64. ábrán található meg.

Kor Normál	Osztály/ szint	Tevékenység	Résztvevők	Témák	
17	11. Osztály Kötelező	Tanóra Tanári kísérlet	2x15	KONZERVATÍV MOZGÁS HOMOGÉN TÉRBEN	- Inga-iránytű analógia - Helmholtz-tekerecs építése
17	11. Osztály Fakultatív	Projekt-munka	10-15	KONZERVATÍV MOZGÁS FORGÓ TÉRBEN	- Forgó koordináta-rendszer használata - Fázissík
18 Érettségi	12. Osztály Fakultatív	Projekt-munka	5-10	KONZERVATÍV MOZGÁS ÖSSZETETT TÉRBEN	- Stroboszkopikus leképezés - Mozcás-analízis
19	Egyetem	TDK	1-3	DISSZIPATÍV MOZGÁS ÖSSZETETT TÉRBEN	- Kaotikus mozgás - Kaotikus attraktor

64. ábra

Javaslat az inga iránytű analógiák feldolgozására témakörök, életkor, létszám és tevékenységi formák szerint

7. A fizikatanításban felhasználható digitális tartalmak fejlesztése

Bevezetés

Valamennyien megtapasztaltuk, hogy ma már nem lehet ugyanúgy tanítani, mint ahogy azt tettük még akár néhány évvel ezelőtt is. Élni szerettem volna a „digitális forradalom” nyújtotta lehetőségekkel és olyan e-learning felületet kialakítani, amely a diákok és a pedagógusok számára is egyszerűen elérhető.

Reményeim szerint a széles választékkal bíró feladat- és tevékenységek segítségével könnyebbé válhat a pedagógus számára a tanórai felkészülés, lehetőség nyílik a differenciált osztálymunkára. Ezek a lehetőségek színesíthetik a fizikatanár repertoárját és elvezethetnek a tanári munka eredményesebbé tételéhez.

A digitális tartalmak segítséget nyújthatnak a személyre szabott fejlesztéshez és a diákok érdeklődésének felkeltéséhez vagy fenntartásához a fizika iránt. Terveim szerint e digitális tartalmakat a diákok ismereteik elmélyítéséhez, tanulási stratégiáik bővítéséhez, mi több, szórakoztató időtöltésként is felhasználhatják.

A digitális tartalmakat a fizika tantárgyi követelményrendszerbe illeszkedő, azt egyenletesen lefedő fejezetekbe szerveztem. Minden fejezet alapja egy bevezető szöveg. E köré szerveződtek az egyéni- és csoportos tevékenységek, azaz a komplex projektfeladatok, az órai aktivitások, a mérések, a videók, az animációk, az ellenőrző tesztek, a szövegekhez kapcsolódó jegyzetek és a különböző típusú számítógépes feladatok. Ugyanakkor a fejezetek tudáselemei egymáshoz és a társtudományok szakóráihoz is kapcsolódnak [52] [53].

7.1. Tananyag-tervezés, „Szövegek” és „Jegyzetek”

A digitális fizika tantárgyi tartalmak tíz fejezetet alkotnak. Minden fejezet alapja egy bevezető szöveg. E köré szerveződnek a projektfeladatok, órai aktivitások, videók, animációk, számítógépes feladatok. Ezek közül több megvalósításában segítségemre volt a Suliklub alkotói műhely grafikusa, nyelvi szakembere, valamint egy megadott képtár adatállományát is használhattam.

A Suliklub számítógépes szakemberei adtak végső e-learning-es formát a szakanyagoknak és az elkészült anyagoknak is a Suliklub internetes oldala adott otthont. A megfelelő Tananyagok behívásához először a Fizika tantárgyat, majd osztályt, végül a Szövegértés menüpontot kell választani. Ezután a Keresés gombra kattintva jutunk a tevékenységi listához, ahonnan kiválaszthatjuk a megfelelő dokumentumot. A tartalmak mobileszközökről is elérhetők. A feladattípusok gyors áttekintésére készült a tananyag-tervező és nyilvántartó táblázat. Ez segít eligazodni a különböző tananyagok között és a különböző tantárgyi kapcsolódási pontok nyilvántartásában.

Összesen 10-10 „Szöveg” és szöveghez tartozó „Jegyzet”, a szaktárgyi kerettantervhez a tematikus kapcsolódási pontokat tartalmazó „Tananyag-névjegy”, „Fő feladat” és „Gyakorló feladat” készült el. Ezeken kívül 8 darab „Projekt szintű komplex feladat”, 5 darab érdekesség, 4 darab animáció, 2 darab interaktív táblára készült feladat, 5 darab teszt, 30 darab grafika, 4 darab kisfilm, 3 hanganyag és 7 fotó készült el, az e-learning felület lehetőségeivel segítve a szövegek feldolgozását. Az animációkat, a filmeket (videókat), a grafikák és a fotók egy részét jómagam készítettem. A többi grafikát grafikus készítette, valamint fotótár állt rendelkezésemre a hiányzó fotók kiválasztásához. A videókat iskolai környezetben forgattam le, de minden tantárgy esetében egységesen, külső gyártóval újra forgatták. A szaktárgyi anyagok grafikai megjelenése is egységes volt.

A „Fő”, a „Gyakorló” és a „Projekt szintű komplex feladatok” elkészítéséhez egy táblázat, úgynevezett sablon állt rendelkezésemre. Ezekben a programozók által ajánlott, közismert e-learning-es feladattípusok voltak. Az ezektől különböző, fizikatanítási szempontból a legnagyobb kihívást jelentő, új feladattípusokat külön sablonba kellett leírni, melynek megvalósulása elsősorban a programozókkal és a tananyagfejlesztő-módszertanossal kötött kompromisszumon alapult.

A „Szövegek” és „Jegyzetek” együtt alkotnak különálló egységet, hiszen a tanulói és tanári tevékenységek ezek köré szerveződtek. Szövegértési vagy a témaköri kapcsolódások jelentették a „Fő” és „Gyakorlófeladatok”, „Tesztek” és a „Projekt szintű komplex feladatok” kiindulási pontjait.

A struktúra, a stílus, a saját készítésű képanyag szemléltetésére álljon itt az első „Tananyag névjegy”, amely a tanárt segítő, a szöveget érintő információkat tartalmaz. (65. ábra).

A „Tananyag névjegy” után következik a „Szöveg”, amely annak sorszámaival kezdődik. a „Melléklet” megjelölést kapja, újra a sorszám, majd a cím végül a típus megjelölése (szöveg). Ez segíti a programozó munkáját az online felület elkészítésében, valamint a felhasználói keresést. Az első „Szöveg”. a „De tényleg, hol vagy?” című egy részlete látható a 66. ábrán). Az 1. és 2. fejezet teljes „Szövegei”, „Jegyzetei” és „Feladatai” megtalálhatók az F2 és F3. Függelékben.

Tantárgy	Fizika
Tananyag címe	De tényleg ! Hol vagy ?
Szerző neve	Csernovszky Zoltán
Ajánlott évfolyamok	9–10
Kerettantervi kapcsolódás	Tájékozódás égen-földön
CÉLOK	
Képességfejlesztés	Szókincsfejlesztés; mondat szerkesztés ; fogalomalkotás
Ismeretek	hely, idő, koordináta-rendszer
KULCSFOGALMAK, CÍMKÉK	navigáció, műholdak. GPS, atomóra, koordináták

TARTALOM

A tájékozódási módszerek és eszközök történetét és fejlődését mutatja be a szöveg. Fókuszai a geometriai alkalmazások, az időmérés és a műholdak történetének vázlatos bemutatása. Ez utóbbira a körmozgások és a gravitáció tárgyalásánál is építhetünk. A csillagképek ismerete és a csillagok látszólagos mozgása a bolygómozgás kinematikájához jelent kiindulási alapot.

Az igényektől függően a megadott szöveg-, a hozzá kapcsolódó jegyzetek- és a konkrét helymeghatározási feladatok feldolgozásával megismerkedhetünk a műholdak típusaival, különböző tájékozódási szoftverekkel, időmérő eszközökkel és a GPS-rendszer alapjaival.

A tananyag szöveges része tanórán vagy fakultációs keretek között frontálisan, csoportmunkában, de otthoni felkészülést igénylő munkával is feldolgozható. A tesztfeladatok tanórai felhasználásával ellenőrizhetjük a szöveg megértését. Fakultációs vagy szakköri feldolgozása egyénileg is történhet.

A Google Earth és a Stellarium szoftverek ingyenesen letölthetők. Mindkettő magyar nyelvű menüvel is rendelkezik. Menürendszerük gyors bemutatásához projektor javasolt.

65. ábra Tananyagnévjegy (De tényleg, hol vagy?)

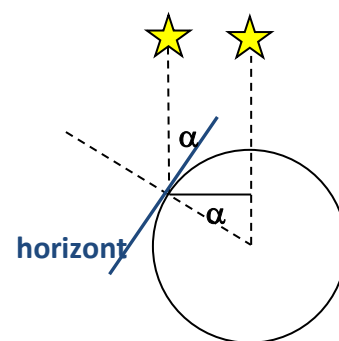
01___ MELLÉKLET ___ 01. DE TÉNYLEG, HOL VAGY ?___SZÖVEG

Arra az egyszerű kérdésre, hogy "Hol vagy?", hihetetlenül sok válasz adható. A leggyakoribb mégis, koroktól és kultúráktól függetlenül, az "Itt."

Ezzel a frappáns szóval válaszolt az a hajóskapitány is, aki a körös-körül csak tengert látó Szent Lajos király "Hol vagyunk?" kérdésére az előtte heverő tengerészeti térkép egy pontjára bökött. Majd hozzátette: "Amennyiben Felséged már napkeltekor méltóztatik elhagyni ágyát, megláthatja majd a pogányok partvidékét."

Mivel ez a 13. században történt a Földközi-tengeren, nagyon valószínű, hogy a kapitány tájékozódását a térképen kívül segítette egy szögmérő eszköz (kvadráns vagy Jákob-pálca), egy szélrózsza és egy iránytű¹.

Később a szélességi és hosszúsági körök pontos meghatározása lett a „Hol vagy?” kérdésre adott válasz alapja. Az előbbi a horizont és a Sarkcsillag irányának szögéből könnyen mérhető.



66. ábra Az első „Szöveg” részlete („De tényleg, hol vagy?”)

Ezután következik a 02 számú Melléklet, az 1 fejezet Szövegéhez kapcsolódó „Jegyzetek”, amely szintén szöveg típusú dokumentum. Az ebben indexként feltüntetett számok közvetlen utalásokként megtalálhatók a Szövegben. Mindettől függetlenül a Jegyzetek egyes elemei, akár önálló gondolati egységekként is segíthetik a tanár munkáját és a tanulók szövegértését. A Jegyzetek több információja is szükséges a többi feladat megoldásához, ezért a Szöveggel egyenrangú egységet képviselnek.

Fizikatanítási szempontból a „Szövegek” és „Jegyzetek” több szempontból is hiánypótlóak. Elsősorban a diákok szövegértését hivatottak elősegíteni, amely kiemelt jelentőségű mind a közép-, mind az emelt szintű fizikaérettségit tekintve. Másrészt a választott témakörök feldolgozása új, de a fizika követelményrendszerhez kapcsolódó ismeretekkel gazdagítja a diákokat. Így jó lehetőséget nyújt a szövegértési készségek felmérésére, azok fejlesztésére és ellenőrzésére is.

7.2. „Fő feladatok”, „Gyakorló feladatok”

A „Fő feladat” mind a tíz fejezetben szervesen kapcsolódik a „Szöveghez” és a „Jegyzet”-hez, a tartalomfejlesztési terminológiával élve a „Matériához”. Reményeink szerint a „Fő feladat” megoldásához figyelmesen el kell olvasni a „Szöveget” és a „Jegyzetet”, azok főbb információit megjegyezve vagy megkeresve kell megoldani azt. A 7. táblázat az 1. fejezet „Fő-feladatának” névjegye, a tanulóknak, az informatikusnak és a tanároknak szóló instrukciók, leírások, javaslatok, illetve információk részletét mutatja.

	Tantárgy Kerettantervi kapcsolódás Képességfókusz, ismeretfókusz Ajánlott időráfordítás A feladat differenciáló funkciója	Fizika Tájékozódás égen-földön Adatgyűjtés, adatok rendszerezése, rangsorolása, adatok között összefüggésteremtés megadott szempontok alapján 1 tanóra Különösen ajánlott csoportmunkára és tehetséggondozáshoz									
Cím: A feladat tanulóknak szóló instrukciója:	01. De tényleg, hol vagy ? és 01. Jegyzetek Olvasd el a szöveget, nyisd meg a Google Earth navigációs programot. A megadott GPS-koordináták alapján kövesd James Cook világkörüli útját az Endeavour hajó fedélzetén! Minden állomáson egy tesztkérdést kell megoldanod a továbbhaladáshoz!										
A feladat működésének leírása. (Informatikusoknak szól)	Az 1. város GPS-koordinátái: 50°21'44.83 É / 4°09'05.05" NY. A város neve: Plymouth. Ezt begépelve kapja meg az 1. tesztkérdést a játékos. A tesztkérdések a Sablonban találhatóak. Egy kérdés – egy helyes válasz típusúak. Helyesen megoldva kapja meg a 2. város GPS-koordinátáit. <table border="1" data-bbox="469 1265 1377 1420"> <thead> <tr> <th colspan="2">GPS</th><th>Város</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>22°57'32.95"D</td><td>43°49'11.51"NY</td><td>Rio de Janeiro</td></tr> <tr> <td>34°10'40.56"D</td><td>18°44'29.41"K</td><td>Fokváros</td></tr> </tbody> </table>		GPS		Város	22°57'32.95"D	43°49'11.51"NY	Rio de Janeiro	34°10'40.56"D	18°44'29.41"K	Fokváros
GPS		Város									
22°57'32.95"D	43°49'11.51"NY	Rio de Janeiro									
34°10'40.56"D	18°44'29.41"K	Fokváros									
Egyedi visszajelzés	Az utolsó, fokvárosi kérdésre is válaszolva egy „Visszaértél Plymouth-ba! Megcsináltad! „ feliratot kérek valamint az alábbi szöveg felugrását: (03_MELLÉKLET_FELUGRÓ SZÖVEG)										
Javaslat a tanároknak	A feladat elkezdése előtt telepítse a Google Earth (www.google.com/earth/) programot, amelynek segítségével a navigáció történik. Természetesen térkép segítségével is megtalálhatóak a földrajzi helyek nevei. A tesztkérdések csillagképes feladatait a Stellarium (www.stellarium.org) programmal oldhatjuk meg. Az egeret a bal alsó sarokba húzva a függőleges menüsoron a Megfigyelési hely (F6) beállításával adhatjuk meg a helyszínt. A vízszintes menüsor jobb szélső gombjaival változtathatjuk a megfigyelés idejét. Ugyancsak a vízszintes menüsoron állíthatjuk be a csillagképek neveinek megjelenítését és csillagjainak összekötését.										

7. táblázat

Fő feladat: Tananyag-névjegy és instrukciók (De tényleg, hol vagy?)

Ahogy az Egyedi visszajelzés sorában olvasható, a Fő feladat teljesítése után az alábbi szöveg ugrik fel a feladatot megoldó tanulónak, mintegy teljesítményének elismerése jeléül (67. ábra).

03__ MELLÉKLET__ FELUGRÓ SZÖVEG (A feladat teljesítése után)__SZÖVEG

James Cook és az Endeavour hajó (magyarul Törekvés) 1769-es küldetésének természettudományos célja volt: nevezetesen a Vénusz áthaladásának megfigyelése.

Ha a Föld két ismert távolságra lévő pontjából le tudjuk pontosan mérni azt, hogy mennyi idő alatt halad át a Vénusz a Napkorong előtt, akkor geometriai módszerekkel meghatározható a Föld és a Vénusz távolsága. Ebből a Nap - Föld távolság és a Nap tömege is kiszámolható.

Az angol Horrocks figyelte meg elsőként a Vénusz Napkorong előtti áthaladását 1639-ben, miután Kepler törvényei alapján pontosította a bolygó pályáját. Tőle származik a fenti geometriai módszer kidolgozása is.

Hogy miért a Vénusz? Mert a másik szóba jövő jelölt, a Merkúr túl gyorsan vonul át a Nap előtt (kb. három óra alatt, míg a Vénusz esetében ez mintegy 7 óra). A megfigyelés(ek) sikeres(ek) volt(ak), de a korabeli eszközök pontatlansága miatt, a ma elfogadott Nap - Föld távolságnál (149 millió km) mintegy 10 %-kal kisebb értéket sikerült csak meghatározni

67. ábra Fő feladat: Felugró ablak a feladat teljesítése után (De tényleg, hol vagy?)

A „Gyakorló feladatokkal” igyekeztem a tananyag interaktivitását erősíteni. Emiatt a rendelkezésre álló digitális technikai eszközök számbavételével alakítottam ki a feladatok típusait. A terveim szerinti iskolai alkalmazások az interaktív táblák és a számítógépek használatán, míg az otthoni alkalmazások a mobil eszközök, (okostelefonok, táblagépek, laptopok) valamelyikének használatát feltételezte. A programozók a legismertebb digitális feladattípusokat összegyűjtve alakították ki a következő feladattípusok sablonjait:

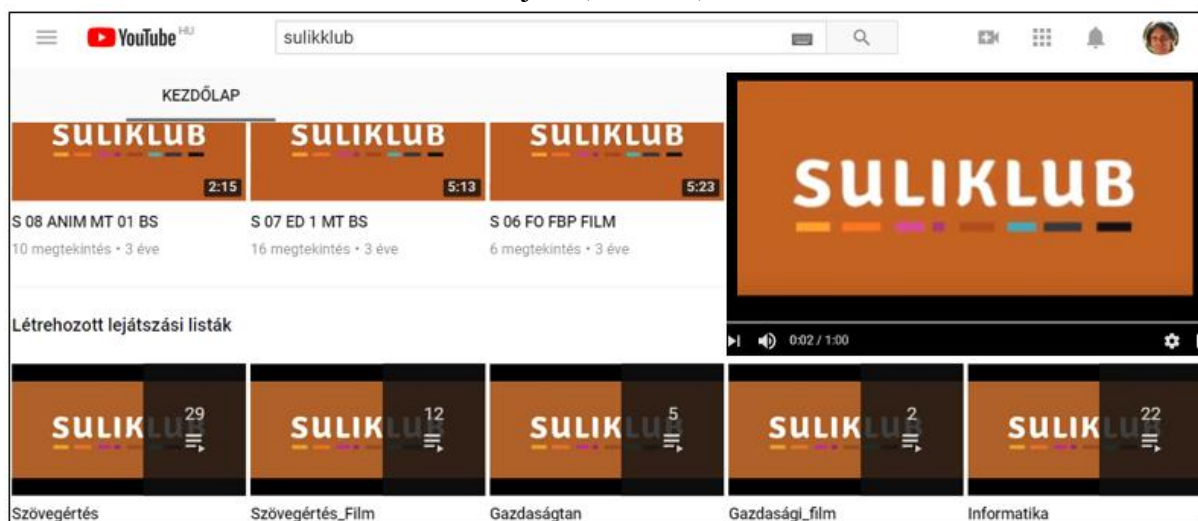
- | | |
|---|----------------------------------|
| - Szöveg / kép sorba rendezése, | - Lukas szöveg (Lenyíló menü) |
| - Szöveg / kép csoportosítása, | - „Fogd és húzd!” (Szövegbeírás) |
| - Feleletválasztó (igaz-hamis válasz), | - Képre kép (Kép elhelyezése) |
| - Feleletválasztó (egy/ több helyes válasz) | - Joker (Más feladat-javaslatok) |
| - Szöveg / kép párosítása (Memória) | |

A fentiekben bemutatott „Fő feladat” egy „Joker” típusú feladat, míg az *F2.* és *F3. Függelékben* megtalálható néhány feladat-típus. A feladatok a Tananyagok szövegértését kívánja elősegíteni, illetve azokat ellenőrizni. Az itt szereplő feladat megoldása új ismeret szerzését is feltételezi a Stellarium szoftverrel vagy tanári segítséggel.

A „Fő” és „Gyakorló feladatok” azon túl, hogy a „Szövegek” ismeretanyagát használja és ellenőrzi, a megoldásuk önálló ismeret-szerzést és legtöbbször kreatív feladatmegoldói attitűdöt igényel. Igyekeztem minél több új típusú „Joker” feladatot kidolgozni, hogy a diákok figyelmét felkeltssem, új típusú kihívásokkal találkozzanak, sőt a legismertebb szoftvereket is használják a feladatmegoldások során. A feladatok megvalósítása sok szempontból az informatikusan működik.

7.3. Animációk, videók, képregény, mérési eredmények

Egyes „Szövegek” megértését segítik elő, illetve azokat illusztrálják a saját gyártású animációk, mérések és videók. A témakörök megértését és feldolgozását segítik elő, melyeket minden tantárgynál, újra-rajzolták, illetve leforgatták a szerzők által megadott instrukciók nagy részének figyelembevételével. Az animációk és videók egységes keretrendszerbe illesztve elérhetők a Youtube „Suliklub” csatornáján. (68. ábra)



68. ábra

A Youtube Suliklub csatornája, néhány Lejátszási listával

<https://www.youtube.com/channel/UC8eq7TVAgj5JW5RD5bW8ywA>

A Fizika tantárgy szövegértési feladataihoz két animáció készült, melyek a 6. és 10. fejezethez készültek és az Ökológiai lábnyom, valamint Egy csillag élete címet kapták. Az eredeti animációk a fenti Youtube Suliklub csatorna Szovegertes mappájában találhatóak, Csernovszky Júlia grafikus munkája. (69. ábra)



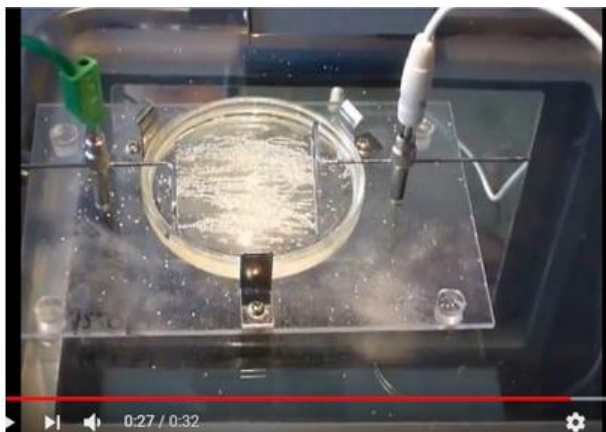
69. ábra

Animációk: Ökológiai lábnyom,

Egy csillag élete

<https://www.youtube.com/watch?v=yhod-1ceqVI> , <https://www.youtube.com/watch?v=Hm9q2uYXOpQ>

Több rövid videó is készült két nagyobb témakör, az Elektromos erővonalak és a Hullámjelenségek illusztrálására. Az előbbibe a Ponttöltés erőtere, a Homogén elektromos tér című, az utóbbiba a Hullámelhajlás résen, a Víz hullámok interferenciája és a Körhullámok visszaverődése című. Ezek a videók a fenti Youtube Suliklub csatorna Szovegertes_Film mappájában találhatóak. (70. ábra)



70. ábra

Videók: Elektromos erővonalak,

Hullámjelenségek

A Sebességfogalom és a KRESZ című Szöveg egy rendőr és egy Sofőr párbeszédét dolgozza fel. Az eredeti ötlet R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands: Mai fizika 1., Műszaki Kiadó, 1988, művében található. A párbeszéd ez alapján készült, azt a GPS fogalmával kiegészítve és a viszonyítási rendszerek fontosságát kiemelve lett továbbgondolva. Részlete a 71. ábrán látható, bővebben az *F2 Függelékben*.

MATÉRIA	MŰFAJA
Mellékletként csatolt 01. Szöveg (Sebességfogalom és a KRESZ)	szöveg

A SEBESSÉGFOGALOM ÉS A KRESZ

Egy Sofőr lakott területen személyautót vezet. Meglehetősen gyorsan hajt. Bemérik trafipax-szal¹, majd leállítja a rendőr, és azt mondja neki:

Rendőr: – Jó napot kívánok! Hölgym, Ön óránként 70 kilométerrel ment, kérem az iratait!

Sofőr: – Biztos úr, az lehetetlen! Hogy mehettem volna 70 kilométert óránként, amikor csak 10 perce indultam!

Rendőr: – Úgy értem, ha így haladna még 1 óráig, ahogy most, akkor 70 km-t tenne meg.

Sofőr: – Jó vicc! Ha így haladnék tovább, ahogy mentem, akkor 1 perc múlva felkenődnék a falra, mert balra kanyarodik ott az út!

Rendőr: – Ugyan, Hölgym! Azt is mondhatom, hogy ha így haladt volna tovább, akkor a következő másodpercben 19,44 métert tett volna meg. 19,44 méterig még egyenes az út, nincs kereszteződés, úgyhogy adom a csekket! Vagy a helyszíni bírságot választja?

Sofőr: – Ööö, ne adjon semmiféle csekket, hiszen semmilyen törvény nem tiltja, hogy másodpercenként 19,44 métert vagy többet tegyek meg a kocsimmal.

Rendőr: – Íme, itt a törvény! (Megmutatja a kinyomtatott változatot).

Sebességhatárok 2013 – a megengedett legnagyobb sebességek az egyes utakon

A törvény szerint: az egyes járművekkel –, ha a rendelet másként nem rendelkezik – legfeljebb a következő sebességgel szabad közlekedni: Személygépkocsival, motorkerékpárral, valamint 3500 kg megengedett legnagyobb össztömeget meg nem haladó gépkocsival:

autópályán 130 km/óra	autóúton 110 km/óra
lakott területen kívül egyéb úton 90 km/óra	lakott területen 50 km/óra

71. ábra A Képregény alapjául szolgáló párbeszéd (Részlet „A sebességfogalom és a KRESZ”-ből)

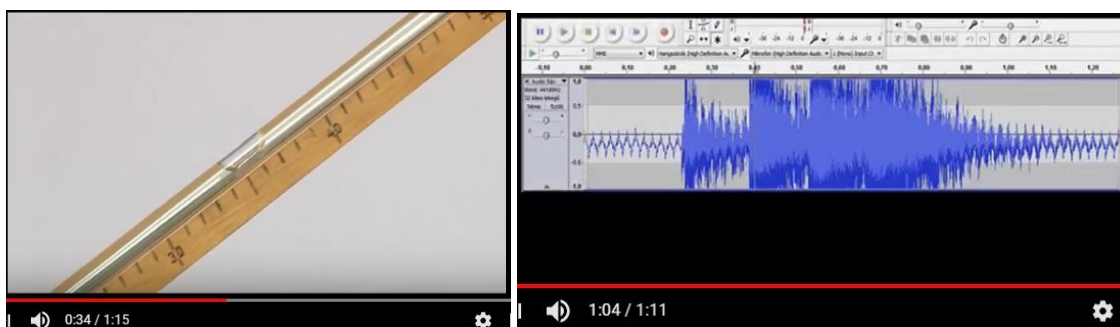
A párbeszédet feldolgozó „képregény” illusztrátora Szűcs Édua képekre bontotta a sebességfogalom kialakulását és a viszonyítási rendszerek szerepét szemléltető beszélgetést. Az egymás után lejátszott, szövegekkel ellátott illusztrációk mintegy képregényt alkotva dolgozzák fel az eredeti „Sebességfogalom és a KRESZ” párbeszédet (72. ábra).



72. ábra *Képregény: Sebességfogalom és a KRESZ (slide-sorozat)*

<https://www.youtube.com/watch?v=Ij0l6QMCwQo&t=2s>

Kinematikai mérések címmel készült négy mérést és eredményeiket leíró-elemző videó. Az első egy Mikola-csőben mozgó buborék sebesség-mérése látható. Ez egyrészt bemutatja az egyenesvonalú egyenletes mozgás fogalmát, másrészt előkészíti a 3. Szövegben található buborék-sebessége hajlásszög függvényét. A második videó egy lejtőn leguruló golyó út-idő mérési eredményeinek elemzésével megadja az egyenesvonalú egyenletesen változó mozgások fogalmát. A harmadik és a negyedik videó az Audacity ingyenesen letölthető szoftver segítségével vizsgálja egy fémgolyó és egy ejtőzsínorra erősített csavarok szabadesését és méri a szabadesés gyorsulását. (73. ábra)



73. ábra *Mérések, mérési eredmények (Kinematikai mérések)*

01 <https://www.youtube.com/watch?v=MIU6-gCGyDs> 02 <https://www.youtube.com/watch?v=vZUek-CBz5k>
 03 https://www.youtube.com/watch?v=Cf6GB_dbAVg 04 <https://www.youtube.com/watch?v=Fh5eA8Hs7F0>

Amíg az animációk és videók inkább az illusztrálást, a nehezebben elvégezhető kísérletek bemutatását és a problémafelvetést szolgálják, a mérési eredmények szövegbe illesztése a mérések elvégzését és a saját mérési adatok felvételét hivatottak népszerűsíteni. Tudatos szándékot tükrözött a fizika szóbeli emelt szintű érettségien használt szoftverek használatának népszerűsítése és fizikai órai felhasználásuk propagálása saját mérési eredmények felvételére vagy elemzésére.

A párbeszéd „filmesítése” szökkenő slide-okkal később is népszerű tevékenységnek bizonyult, elsősorban a filmes, a grafikus és az informatikai beállítottságú diákok körében. Az autó sebességének meghatározása különböző koordináta-rendszerekben didaktikailag bizonyul hasznosnak, hiszen a diákokat hosszabb számítások elvégzésére is motiválja.

7.4. „Projekt szintű komplex feladatok”

Jelentős szerepet foglaltak el a szövegértési feladatok kreatív oldalát erősítő „Projekt szintű komplex feladatok” vagy röviden „Projektek”. A Fizika tantárgyban igen jelentősek ezek a szöveg megértésén alapuló, de a szövegek manifesztálódásának, tárgyasulásának is tekinthető feladatok.

Egyrészt többféle szaktanári előkészítést igényelnek. Nemcsak az olcsón beszerezhető alapanyagok jelentenek ilyenkor kihívást, hanem az óra és az órán kívüli tevékenység megszervezése is. A tanulói oldalról tekintve is szokatlan a páros vagy kiscsoportos együttműködés, a kézzelfogható eredményt felmutató projekt-feladatok végzése. A fentieket szem előtt tartva hét projekt-feladat található a Fizika szövegértési feladatok között. A kitűzött projektek témái és címei az alábbiak találhatóak. Zárójelben egy-egy kiemelt projektet tüntettem fel „Projektenként”. Például a „Sebességfogalom és a KRESZ” című párbeszédhez kapcsolódó projekt-feladatok leírásának részletét a 8. táblázat mutatja. A „Projekteket” lásd részletesebben az *F4. Függelékben*.

- Kinematika: Sebességfogalom és a KRESZ
(A Párbeszéd előadása)
- Energetika: Gondold újra! Energia ma és holnap
(Energiakoncepció kidolgozása a közeli és távoli jövőre)
- Közegellenállás: Messzebbre, hosszabban, gyorsabban
(Papírrepülő; buborék mozgásának vizsgálata Mikola csővel)
- Elektromágnesség: A Te villanymotorod
(Villanymotor készítése, a lépések regisztrálása, megosztása)
- Statika: Gályát a vízre!
(Terv készítése Hierón király gályájának vízrebocsátásához)
- Fénytan: Látsz engem?
(Periszkóp és lyukkamera készítése)
- Csillagászat: Irány a Mars!
(Mars-expedíció oda-vissza útjának megtervezése)

A „Projektek” igen fontos feladatot töltenek ma már be a Fizika tantárgy nem hagyományos megközelítésében. Magyarországon több középiskola is teret enged a fizika tantárgy „Projekt” szintű megközelítésére. A teljesség igénye nélkül Budapesten a Berzsenyi Dániel Gimnázium, a Kölcsey Ferenc Gimnázium, a Radnóti Miklós Gimnázium és a Lauder Javne Iskola, Miskolcon a Hermann Ottó Gimnázium. Remélve ezzel többek között a természettudományos ismeretek gazdagítását, a természettudományok népszerűségének növelését és a természettudományos tárgyakból érettségizők számának emelkedését.

A Projektek közös jellege a kiscsoportos kooperációban, a nyíltvégű problémák kitűzésében és a bemutatható produktum létrehozásában érhető tetten. Nemzetközileg is követhető, követendő példákat láthatunk magunk előtt. Francia középiskolákban Travaux Pratiques Encadrés címen heti egy órás, a természettudományos tantárgyakhoz köthető, 2-3 fős csoportokra megalkotott, bemutatóval végződő új tantárgy alakult ki. A projekt-jelleg mellett a vitaoldalt kiemelő nemzetközi verseny az IYPT (International Young Physicist Tournament).

PROJEKTSABLON		
Struktúra, leíró adatok	Évfolyam	9–10.
	TERÜLET	SZÖVEGÉRTÉS
	Tantárgy	Fizika
	Kerettantervben	A közlekedést érintő kinematikai problémák
	Képességfókusz	Szókincsfejlesztés; mondatszerkesztés
	Ajánlott időráfordítás	2-3 tanóra
	Infrastrukturális igény	Internet, számítógép, projektor
A projekt	Sebességfogalom és a KRESZ	
A projekt terméke:	Jelenet bemutatása/ Tablók készítése/ PPT-bemutatók/ Kísérletek bemutatása/ Interjúk	
Projektleírás	A viszonyítási rendszerek szerepének bemutatása a sebesség meghatározásában. Az SI mértékegységrendszer-, és sebességmérő eszközök bemutatása.	
Számítógépes munkát nem igénylő tevé- kenységek	<ul style="list-style-type: none"> • A Párbeszéd előadása • Sebességmérők működésének ismertetése a jegyzet alapján • Sebességmérés: hogyan működik a traffipax? esetleg interjú készítése közlekedési rendőrrel. • Az SI mértékegységrendszer: ismertetése, a törvényi háttér és más sebesség-mértékegységek bemutatása (angolszász országok, hajózás, tudományos élet...) 	
Javaslat a tanároknak	<p>Javaslatok a feldolgozáshoz és a csoportok kialakítására:</p> <ul style="list-style-type: none"> – A Párbeszéd előadása (2 fő). – Sebességmérők, sebességmérés: szemléltető ábrák, ppt bemutató; esetleg szakköri/fakultációs feldolgozásban interjú készítése közlekedési rendőrrel traffipax működése témában (5-8 fő) – SI mértékegységrendszer: ismertetése, más sebesség-mértékegységek (angolszász országok, hajózás, tudományos élet) (5-8 fő) – Sebességfogalom: a videóban szereplő kísérletek bemutatása, elemzése (szabadesés, Galilei, elmozdulás és út problémája, görbe érintője és pillanatnyi sebesség) (5-8 fő + tanári segítség) – Viszonyítási rendszerek és GPS: a szövegben szereplő sebességértékek ellenőrzése, a közölt cikk bemutatása vagy a GPS ismertetése is lehet a csoport célja (2-3)+(3-5) fő 	

8. táblázat

Egy projektfeladat

(Sebességfogalom és a KRESZ)

A Fizikatanításban felhasználható digitális tartalmak fejlesztésének összeggzése

A fizikatanítási szempontból újszerű a digitális eszközök lehetőségeit kihasználó e-learning felületen, fizika tantárgyi tartalmak, szövegértés alapú tudáselemek, egyéni, csoportos, otthoni és tanórai feldolgozásra is ajánlható tevékenységek születtek. Ezekből a több síkú fizikatörténeti olvasmányokból, komplex projekt-feladatokból, párbeszédet feldolgozó képregényből, animációkból, mérésekből a tanári és a tanulói igényeknek egyaránt megfelelő, sokszínű feldolgozási utak hozhatók létre.

A pedagógus és diák felhasználók internetes és mobileszközökről is elérhették e tartalmakat. A tartalmak ideális feldolgozásához, tapasztalataink szerint elsősorban az ellenőrző és projekt-tevékenységeket tanári iránymutatással, segítséssel és vezetéssel célszerű végezni. Kipróbálásukra a miskolci Hermann Ottó Gimnáziumban a 2014/15 tanévtől került sor. A tartalomfejlesztések tantárgy-függetlenül a felhasználók szövegértését hivatottak voltak fejleszteni és mérni [51] [52] [53].

Fizikatanítási szempontból fontos kiemelni a komplex projekt-szintű feladatok hatékonyságát, amely tevékenységi forma nagy mértékben és hatékonyan segíti a természettudományos gondolkodásmód fejlesztését és a tudományos módszer gyakorlását. Ehhez a tevékenységhez nem szükséges az e-learning felület és az informatikai eszközök, de a munkacsoportok hatékonyan felhasználhatják azokat, valamint nagy mértékben segítik a bemutatók és más létrehozott produktumok színvonalának emelését.

Összegzés

Az organikus napelem-cellák megépítésével, majd a 20. emelt szintű mérés elvégzésével olyan komplex folyamatba sikerült bevonni a diákokat, amely nemcsak az érettségire készülésüket segítette elő, hanem sokuk számára jó pályaválasztási motivációnak is bizonyult. Az ennek érdekében szervezett szakköri és projektmunkák megfelelő keretet biztosítottak mindkét munkának.

Az organikus napelem-cellák működésének alapját a félvezetők energia sávstruktúrája jelenti. Ennek a témának a bevezetésére is nagyon hasznosnak bizonyultak az organikus napelem-cellák. Interdiszciplináris alkalmazási lehetőségek nyíltak meg, amikor felismertük, hogy az organikus napelem-cellák elektronciklusának megfelelő tagolásával leírható az egy-p-n-átmenetes napelem-cella és a fotoszintézis fényszakaszának elektron-ciklusa is. A fenti eszközök, rendszerek analógikus leírása, az organikus napelem-cellák ilyen irányú alkalmazása a fizikatanításban nemzetközi érdeklődésre tart számot. Az organikus színezékek spektroszkópiai vizsgálata szintén jó példáját nyújtja a saját eszköz elkészítésén alapuló, majd mérési adatok felvételével és elemzésével folytatott projektmunkának. A saját mérési adatok felhasználása a megértési, modellalkotási folyamatot is nagymértékben elősegítheti.

Az irányított mozgásának leírása mind a homogén, mind a forgó, mind az összetett mágneses térben több, pedagógiai szempontból érdekes alkalmazást tesz lehetővé. Egyrészt középiskolai fogalmakkal megalapozható az inga-irányított analógia, másrészt Helmholtz-tekercs megépítésével és a bennük folyó áram erősségének változtatásával megfigyelhetővé válik a homogén mágneses térben mozgó irányított esete. Az irányított mozgásának számítógépes követése és a különböző ábrázolási módok és koordináta-rendszerek használata izgalmas szakköri téma. A determinisztikus káosz, a kaotikus attraktor vagy a fraktálok vizsgálata igen kedvelt terület nemcsak a fizikát kedvelők körében. Emiatt a kaotikus attraktorok jellemzése, a káoszhoz vezető út elemzése, projektmunka keretében igazi kutatómunka.

A közoktatási tartalomfejlesztésként megvalósuló e-learninges felület megvalósult, kipróbálására során pozitív visszajelzéseket kaptunk. Ez is mutatja, hogy a közoktatásban van igény a fejlesztésekre és az új szemléletű tevékenységi formákra. Ugyanakkor a leadott interaktív feladatok megvalósítása nagymértékben függ a számítógépes munkatársaktól, a grafikusoktól, a háttérbázistól (kép, video, animáció). Ez felveti egy jövőbeli fizikatanítás-specifikus adatbázis létrehozását, a legsikeresebb tevékenységi formák rögzítésével.

Köszönetnyilvánítás

Mindenekelőtt köszönöm Dr. Horváth Ákos témavezetőmnek, hogy a szó valódi értelmében megismertetett az önálló tudományos kutatómunkával, vezetett és támogatott a gondolatok, kísérletek és értelmezések sokszor szövevényes világában. Tudományos igényessége és az általa képviselt magas szakmai színvonalú felfedezőmunka például és mintául szolgált a nehéz helyzetekben is. Bármikor számíthattam a segítségére, köszönöm neki, hogy mindvégig alapos figyelemmel követte tevékenységem, rugalmasan segítette nem kevés számú problémám megoldását.

Köszönet illeti Dr. Tél Tamás professzor urat nemcsak a lehetőség megteremtéséért, melyet a Fizika Doktori Iskola, Fizika Tanítása Programja jelent a fizikatanároknak, hanem a TPI-15 konferencia megszervezésért, kiadványának létrehozásáért. Köszönetemet fejezem ki, hogy az MTA-ELTE Fizika Tanítása Kutatócsoport vezetőjeként lehetővé tette előadásomat a gödöllői Fizikatanári Ankéton, a sztánai Erdélyi Fizikatanítási Konferencián és a Milton-Keynes-i MPTL-17 nemzetközi fizikatanítási konferencián. Emellett külön köszönet illeti Inga és iránytű harmonikus rezgésétől kaotikus mozgásáig című téma felkarolásáért, Téziseim szakértő, lényegretörő és előremutató bírálatáért.

Köszönetemet fejezem ki Dr. Juhász András egyetemi docens úrnak, nem csupán a Fizika Tanítása Doktori Iskola létrehozásáért, szervezéséért és működtetéséért, hanem a lehetőségért, amelyet az MPTL-15 nemzetközi fizikatanítási konferencián való részvétel jelentett, valamint Téziseim szakértő, lényegretörő és előremutató bírálatáért.

Külön köszönöm Vass Gábornak a kooperációt a spektroszkópia témakörben, Gartner Istvánnak és Hömöstre Mihálynak az organikus napelemeket érintő értékes észrevételeket, Sass Lászlónak a fotoszintézis mélyebb megértését elősegítő útmutatásokat, Jenei Péternek a lehetőséget, hogy az ELTE 450°C-on működő kemencéjét használhattam, Nagy Péternek a Dynamics Solver szoftver magyar nyelvű leírásáért, a stroboszkopikus leképezést szemléltető animációért, Szabó Noéminek az Organic solar cells in physics education cikk Video Absztraktjának elkészítését, Papp Ágnesnek a magas színvonalú projektvezetést, valamint a nyugodt, elmélyült csoportmunka feltételeinek megteremtését.

Köszönetemet fejezem ki a projekteken részt vevő kölcséys, berzsenyis és hermannos diákoknak, kiemelve és név szerint megemlítve Barcs Bálintot, Oberfrank Robint, Vasvári Lászlót, Levron Antoine-t, Kovács Mátét, Szendi Ágostont.

Köszönöm családomnak a sokéves elfogadó, támogató, szeretetteljes türelmet, a kreatív háttérrel, amely nélkül nem mélyedhettem volna el sem a tudományos kutatómunkában, sem a fizikatanítás rejtelmeiben.

Irodalom

Irodalom az Analógiák a napelemek tanításában című részhez (1., 2., 3., 4. fejezetek)

- [1] GP Smestad, M Grätzel (1998). Demonstrating electron transfer and nanotechnology: A natural dye-sensitized nanocrystalline energy converter. *J. Chem. Educ.* **75** 752–6
- [2] S J Appleyard, Simple photovoltaic cells for exploring solar energy concepts, 2006 *Phys. Educ.* **41** 409
- [3] S J Appleyard, Experimenting with photoelectrochemical cells in drinking straws, 2008 *Phys. Educ.* **43** 270
- [4] G Ireson *et al*, Solar energy revisited: creating and using Grätzel cells at school, 2006 *Phys. Educ.* **41** 377
- [5] Z Csernovszky, Á Horváth Raspberry solar cell, a versatile tool in teaching physics, *Int. Conf. Teaching Physics Innovatively ed T Tél and A Király (Budapest: Graduate Sch. for Physics, Eötvös Univ.)* pp 149–54 <http://csodafizika.hu/fiztan/letolt/konfkotet2015.pdf>
- [6] T Le Bahers, Optimisation des cellules solaires a colorants a base de ZnO par une approche combinée théorie/expérience. *These de doctorat* de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris VI. 2011
- [7] B O'Regan, M Grätzel, (1991) A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. *Nature*, **353** (6346), 737-740.
- [8] R Tavernier, *Biologie, Terminale D*, Collection Tavernier, Édition Bordas, 1989 (p.131, fig.2)
- [9] K Zachariadou *et al*, A low-cost computer-controlled Arduino-based educational laboratory system for teaching the fundamentals of photovoltaic cells, 2012 *Eur. J. Phys.* **33** 1599
- [10] M Rodrigues *et al*, How to build a low cost spectrometer with Tracker for teaching light spectra, 2016 *Phys. Educ.* **51** 014002
- [11] K Piláth, Do It Yourself spectroscope, Spectral analysis by web-cam (in Hungarian) <http://pilath.fw.hu/lapok/efiz.php?LF=k23.htm> / <http://pilath.fw.hu/lapok/efiz.php?LF=spkam.htm>
- [12] Piláth K 2012 The matching of a jointly used diffraction grating spectroscope and a web camera, *Fizikai Szemle* **692** 126–7
- [13] J Etula (2012), Comparison of three finnish berries as sensitizers in a dye-sensitized solar cell, *Eur. J. for Young Sci. Eng.*, **1**(1), 5-23.
- [14] Jensen,H. Gibson,U. Jingbiao Cui: ZnO and TiO₂ dye-sensitized Graetzel cells. *Dartmouth REU*
- [15] Jian Zhan, Peng Sun, Shan Jiang, Xiaohang Sun, Lund,T.: An investigation of the performance of dye-sensitized nanocrystalline solar cell with anthocyanin dye and ruthenium dye as the sensitizers, *Roskilde University*, 2006
- [16] How to Build and Use a Dye-Sensitized Solar Cell, A Discussion on Energy and Efficiency <http://www.instructables.com/id/How-to-Build-Use-A-Dye-Sensitized-Solar-Cell-DS/>

- [17] G. Smestad: Titanium Dioxide Raspberry Solar Cell, <https://www.youtube.com/watch?v=Jw3qCLOXmi0>
- [18] Dye Solar Cells for Real, Beginners' Guide and Educational Cell Kit (Advanced), Solaronix <http://www.solaronix.com/materials/>
- [19] Eddy, J., Sanow, D. Carver, M.: Dye-Sensitized Solar Cell Module -Using organic dyes to generate electricity from light, *Julie Dahl Center for the Adv. of Math. and Sci. Ed.*
- [20] Khan, Md. Imran: A Study on the Optimization of Dye Sensitized Solar Cells. *Graduate Theses, Univ. of South Florida, Scholar Commons, 2013*
- [21] Kalyanasundaram, K.: Dye-Sensitized Solar Cells, *EPFL Press*, 2010
- [22] Barker, M. Carr, M., Teaching and learning about photosynthesis. *Int. J. of Sci. Ed. 11(1)*, 49–56
- [23] Z. Csernovszky, Á. Horváth: Organic solar cells and physics education, *European Journal of Physics 39*, 045804 (16pp), (2018)
http://csodafizika.hu/fiztan/english/student/cserno_solar_2018.pdf
- [24] Fizika I. részletes vizsgakövetelmények
https://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktat/erettsagi/vizsgakövetelmények2017/fizika_vk.pdf
- [25] Fizika II. a vizsga leírása
http://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktat/erettsagi/vizsgakövetelmények2017/fizika_vl.pdf
- [26] Fizika, Emelt szintű mérési feladatok
http://dload.oktatas.educaio.hu/erettsagi/nyilvanos_anyagok_2018tavasz/fizika_emelt_szobeli_meres_ek_2018maj.pdf
- [27] Feynman, R.P. Leighton, R.B. Sands, M.: Mai fizika 5., *Műszaki Kiadó*,
- [28] Efurumibe E. L., Asiegbu A. D.: Similarities between photosynthesis and the principle of operation of dye-sensitized solar cell, *International Journal of Physical Sciences*
- [29] Molnár E, Félvezetők elektromos viselkedés, *Műszaki Kiadó*, 1985
- [30] Juhász A (szerk.) Fizikai kísérletek gyűjteménye III., *Arkhimédész-Typotex*, 1996
- [31] Linpeng Jiang, Huiling Yu, Liyi Shi, Yin Zhao, Zhuyi Wang, Meihong Zhang, Shuai Yuan, Optical band structure and photogenerated carriers transfer dynamics in FTO/TiO₂ heterojunction photocatalysts, *Applied Catalysis B: Environmental*, 2016, Pages 224-229
- [54] Purdue University, 2011 Problem Set 4 Question 2 Student Answer
https://wiki.bio.purdue.edu/biol13100/index.php/2011_Problem_Set_4_Question_2_Student_Answer
- [55] Bratek Z, Fodor F, Király I, Nyitrai P, Parádi I, Rácz I, Rudnóy Sz, Solti Á, Szigeti Z, Tamás L, A növényi anyagcsere élettana (2013) Eötvös Loránd Tudományegyetem
- Irodalom az Iránytű harmonikus rezgésétől kaotikus mozgásáig című részhez (5., 6. fejezetek)**
- [32] Nagy, K.: Elméleti mechanika, *Nemzeti Tankönyvkiadó*, 2002
- [33] Tél, T., Gruiz, M.: Kaotikus dinamika, *Nemzeti Tankönyvkiadó*, 2002
- [34] France, B. Taylor, I.: The role of models/and analogies in science education: implications from research, *Int. J of Sci Ed Vol. 27*, 2005

- [35] Radnóti, K.: Analógiák a fizikában és szerepük a fizika oktatásában, *Fizikai Szemle*, 4 (2010) 131
- [36] Aguirregabiria, J. M.: Dynamic Solver, 2005 (<http://tp.lc.ehu.es/jma/ds/ds.html>)
- [37] Nagy, P.: Kaotikus rendszerek szimulációja Dynamics Solver programmal (2014)
- [38] Nagy, P Doktori értekezés, 2014,
http://csodafizika.hu/fiztan/kozkins/doktorik/ertekezesek/nagy_peter.pdf
- [39] Jaloveczki, J Doktori értekezés, 2015,
<http://csodafizika.hu/fiztan/kozkins/doktorik/ertekezesek/ji.pdf>
- [40] Croquette, V: Systemes Non Linéaires et Introductions au Chaos, *ESPCI Signaux et Images*, 2009
- [41] Dijoux, F.: Mouvement chaotique de la boussole
<https://www.youtube.com/watch?v=k6XdCFIPZqM>
- [42] Morvan, A.: Mouvement chaotique d'une boussole soumise à un champ magnétique fixe et à un champ magnétique tournant, *TIPE MP** 2010-2011
- [43] Bergé, P., Pomeau, Y., Vidal, C.: L'ordre dans le chaos, *InterEditions Herman*, 1984
- [44] Érdi, B.: Bolygórendszerek kaotikus dinamikája, *Természet Világa*, (2003) 5.-6. szám
- [45] Saebyok Bae, Chaos: a topic for interdisciplinary education in physics, *Eur. J. Phys.* Vol.30, No.4 2009
- [46] Gruiz, M., Meszéna, T., Tél, T., [Chaotic or just complicated? Ball bouncing down the stairs](#), *Eur. J. Phys.* **38**, 055003(15) (2017)
- [47] Nagy P Tasnádi P: Zeeman catastrophe machines as a toolkit for teaching chaos, *Eur. J. Phys.* **35** (2014) 015018 (22)
- [48] Tél, T., Gruiz, M.: Káoszról kicsit bővebben, *Fizikai Szemle*, 6 (2005) 218
- [49] Gleick, J.: Káosz-egy új tudomány születése, *Göncöl*, 1999
- [50] Csernovszky Zoltán: Iránytű kaotikus rezgésétől kaotikus mozgásáig
Fizikai Szemle, LXVII. ÉVFOLYAM, 6. (750.) SZÁM 2017. JÚNIUS (198.o.-204.o.)
<http://fizikaiszemle.hu/szemle/tartalom/28>

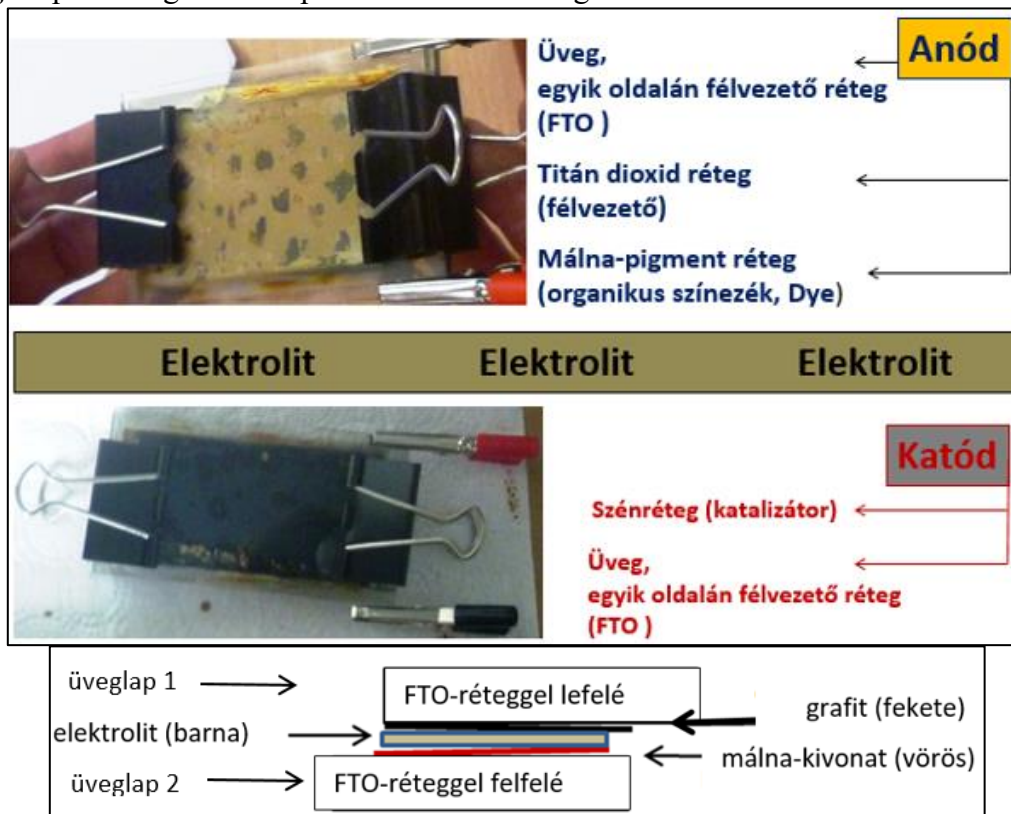
Irodalom a Fizikatanításban felhasználható digitális tartalmak fejlesztéséhez (7. fejezet)

- [51] Afrodita M, Balázs K, Birloni Sz, Csernovszky Z, Demeter É, Farkas B, Kis Sz, Kormos E, Nemes Nagy E, Szövegértési képességek fejlesztése tantárgyi tartalmakon a gimnáziumok 9–12. évfolyamán, *Tankönyv*, (IN-00001
<http://www.kormany.hu/download/0/8c/51000/tank%C3%B6nyvjegyz%C3%A9k2018.pdf>
- [52] Suliklub, e-learning digitális tartalmak:
<http://elearning.suliklub.hu/materia/index.php?func=simplesearch>
- [53] Suliklub, Fizika tartalmak pdf-formátumban:
https://drive.google.com/open?id=1Tc7ujiKsuDIRUWkRrFzSDf7nD_YP84PO

Függelékek

F1. A málnás napelem-cella építése

Az organikus napelem-cellákat igazán vonzóvá a megépíthetőségük és tesztelhetőségük teszi. [18] [19]. Az első málnás napelem-cellát 2015-ben készítettük, az ELTE Teaching Physics Innovatety fizikatanítási konferenciára. Egy málna-pigmenttel érzékenyített napelem-cellát építettünk a budapesti Kölcsey Ferenc Gimnázium tanulóival. Az alábbiakban megtalálható a megépítéshez szükséges anyagok listája, a részletesen leírt, fényképekkel illusztrált megépítési lépések, melyek négy jól használható útmutató felhasználásával készültek [14] [15] [16] [17]. Egy saját építésű organikus napelem-cella főbb rétegeit és összeállítását az *F1. ábra* mutatja.



F1. ábra

Organikus napelem-cella főbb rétegei és összeállítása

A1) Anód

1) FTO üveg

- 10 darab FTO-bevonatú üveglapot rendeltünk Kínából: Lab Transparent FTO Coated Glass (100x56x2.1 mm, 10 ohm/sq) (Zhengzhou Rowell Electronis Co., Ltd., Henan 450000) (2 darab, legalább 5x5 cm)
- etanol / multiméter (tisztításhoz/ 1 db)

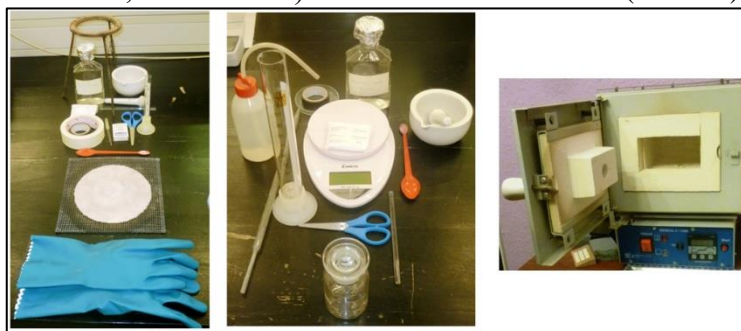
2) Titán-dioxid oldat

- titán dioxid por (anatáz típusú) (12 gr)

Háromféle kereskedelmi forgalomban kapható titán-porot teszteltünk: kozmetikai port, élelmiszer-színezéket és festékszínezék-port. A diffrakciós vizsgálatok nem mutattak ki szerkezeti különbséget a különböző típusú porok között.

- műanyag kiskanál (1 darab)
- mozsár és törő (1-1 darab)

- ecet vagy ecetsav-oldat (20 ml)
- 1ml pipetta (1 darab)
- olló és szigetelőszalag (1-1 darab)
- keverőpálca (1 darab)
- mérleg (1 darab)
- kemence (min. 400-, max 450 °C) (1 darab)



F2.ábra

Eszközök az organikus napelem-cella készítéséhez

3) Színezék-oldat

- friss málna vagy málna-juice (100 gr vagy 1 dl)
- szűrő vagy géz (1-1 darab)
- víz- és etanol adagoló-palack (etil alkohol) (1-1 darab)
- víz és etanol (etil alkohol) (leöblíteni a lapokat)

Az anód-készítés lépései

A1/1) Multiméterrel meg kell keresni az üveglap vezető oldalát, majd meg kell tisztítani ezt az oldalt etanollal, még mielőtt felkerül rá a titán-dioxid oldat.

A1/2.1) A titán-dioxid paszta előkészítése. *Biztonsági szemüveg és gumikesztű használata kötelező az oldat elkészítése során!*

Keverjük össze 20 ml ecetsav-oldatot (0,1 ml ecetsav, CH_3COOH , 50 ml vízben) 12 gramm titán-dioxid porral mozsárban, porítóval. 2-3 ml-enként pipettával adagoljuk az oldatot, miközben a porítóval folyamatosan keverjük a pépet. Egészen addig folytassuk a műveletet, míg homogén pasztát nem kapunk. Műanyag kanállal kaparjuk le a mozsár oldalára és a porítóra tapadt nagyobb darabokat. Az elkészült pasztát pihentessük 15 percig egy kisebb, zárható palackban. A paszta előállításának lehetséges változatait mutatja az F1. táblázat.

Irodalom	[14]	[15]	[17]	[16]
TiO_2 por	6 gr	6 gr	0.5 gr	12 gr
oldat	9 ml víz ecetsav, pH 3.5	9 ml víz ecetsav, pH 3-4	50 ml watervíz 0.1 ml ecetsav	0.2 ml víz 99.8 ml ecetsav
oldószer	1 csepp Triton X-100, 1 ml víz	5 csepp acetone 10 ml víz	x	x

F1.táblázat

A titán-dioxid paszta elkészítésének változatai

A1/2.2) A titán-dioxid paszta felvitele az üveg FTO bevonatos lapjára.

Igen vékony, vízálló ragasztószalaggal kell leragasztani három oldalát 1-2 mm széles sávban a vezető lapjával felfelé fordított üveglapnak (egy hosszabbat és két rövidebbet). A negyediket 4-5 mm szélesen. Ide kerül majd a titán-dioxid paszta, a 4-5 mm széles sávra, az elektromos érintkezést biztosító krokodilcsipesz. Vigyünk fel kis mennyiségben TiO_2 pasztát az üvegre és üvegbottal, annak két végét görgetve, egyenletesen terítsük azt el. Amikor megszáradt a réteg, távolítsuk el a ragasztószalagot. Eközben ne érnünk a titán-dioxid-réteghez. (F3. ábra)



F3. ábra

A titán-dioxid paszta felvitele az üveg FTO félvezető bevonatára

A1/2.3) Kiegyezés

450°C-os kemencében 30 percig égessük ki a TiO_2 réteggel felfelé fordított üveglapot. Hagyjuk lassan kihűlni. Ne érnünk a TiO_2 réteghez, szállítás során sem. (F2. táblázat)

Irodalom	[14]	[15]	[17]	[16]
kemence	30 min. Max. 450°C	30 min. 450°C	forró lap 10-20 min.	30 min. 150-450°C

F2. táblázat

A kiegyezés különböző változatai

A1/3.1) Pigment-oldat készítése.

100 gr málnát törjünk össze mozsárban, porítóval és adjunk hozzá 1-2 ml vizet. Műanyag kanállal nyomjuk át gézen a málna-kivonatot. Magoktól és darabkáktól mentes levet kapunk. Adjuk hozzá az oldószert, majd megint szűrjük át. (F4. ábra és F3. táblázat).



F4. ábra

Pigment oldat készítése

Irodalom	[14]	[15]	[17]	[16]
színezék (pigment)	szeder	szeder	málna, szeder gránátalma	málna
oldószer	metanol (25 tf%) ecetsav (4 tf%) víz (21 tf%)	20 ml víz	x	x
filter	10 min után	3 h után		10 min után
öblítés	izopropanol		víz, etanol	víz, etanol

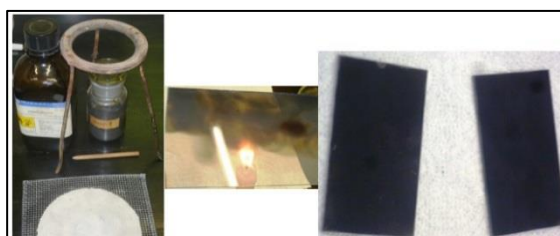
F3. táblázat

Pigment-oldatok készítése

A1/3.2) A pigment-oldat felvitele a kiégetett üvegpra.

10 percre kell beáztatni a kiégetett üveglapot a málna-kivonatba. Ha ezután fehér marad még a kiégetett TiO_2 -réteg, akkor helyezzük vissza még 5 percre. (Más pigment-oldatnál is a TiO_2 -réteg elszíneződéséig folytassuk a műveletet.) Öblítsük le a pigment-oldatot a lapról először vízzel, majd etanollal Ne sértsük meg a művelet során a TiO_2 -réteget.

- gyertya (1 darab)
- víz és etanol (etil-alkohol) (öblíthető)
- kemence (1 darab)

A katód

F5. ábra

A katód készítése

A katód -építés lépései

A2/1) Kormozás. Gyertyalággal kormozzuk be a katódnak szánt üveglap vezető oldalát. Türelmesen, a lapot sokszor kihűtve dolgozzunk! Ne maradjon a lapon kormozottlan felület!

A2/2) Kiégetés. A lapot néhány percre 450°C -os kemencében égessük ki.

A2/3) Öblítés. Öblítsük le a katódot etanollal.

Irodalom	[14]	[15]	[17]	[16]
Katód-réteg	Platina-réteg (10 nm)	?	Szén (korom) (gyertyaláng).	grafit (szén) film kemence, 450°C

F4. táblázat

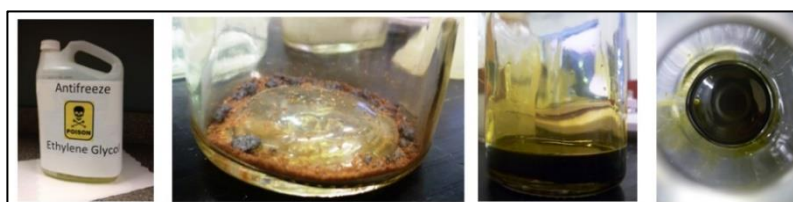
A katód készítése

B) Elektrolit

Az elektrolit egy regeneratív jodid/tri-jodid oldat. Mi kell hozzá?

- kálium-jodid kristály (KI_2) (830 mg)
- jód kristály (I_2) (127 mg)
- etilén- glikol (91% izopropil alkohol) **Tilos lenyelni! Méreg!** (10 ml)

Az elektrolit elkészítése: Össze kell keverni 0.5 M kálium-jodidot 0.05 M jódot etilén-glikolban. **Az elektrolitot tanárnak kell előre elkészítenie!** (16. ábra, 6. táblázat)



F6. ábra

Az elektrolit elkészítése

<i>Irodalom</i>	<i>[14]</i>	<i>[15]</i>	<i>[17]</i>	<i>[16]</i>
<i>Elektrolit</i>	1 csepp jódt trijodid oldat	kálium-jodid (830 mg) jód (127 mg) etilén-glikol (10 ml)	0.5 M kálium- jodid 0.05 M jód etilén glikol.	kálium-jodid (830 mg) jód (127 mg) etilén-glikol(10 ml)

F5. táblázat

Az elektrolit elkészítése

A napelem-cella összeállítása:

Mi kell hozzá?

- iratkapcsoló (2 darab)
- krokodil-csipesz (2 darab)
- pipetta (1 ml beosztású) (1 darab)
- overhead projector (1 darab)
- multiméter (1 darab)

A napelem-cella összeállításának lépései

- 1) Helyezd a grafittal (korommal) és a málna-kivonattal egymás felé az üveglapokat.
- 2) A 4-5 mm-es grafittal és málnával be nem vont felületek az ábra szerint maradjanak fedetlenek. Oda kerülnek majd a krokodilcsipeszek. Az összeállítás két rövidebb szélét iratkapcsolókkal rögzítsük.
- 3) A másik lapon túllógó, hosszabb oldalak felől, óvatosan, pipettával adagoljuk az elektrolitot az elektródák közé, egyenletesen szétterítve az elektrolitot! Cseppenként adagolva. 5 ml-rel kezdjük.
- 4) Az iratkapcsolókat felváltva megnyitva hagyjuk szétterülni az elektrolitot. Ha úgy látjuk, hogy nem terült szét a teljes fedett felületen, akkor ismételjük meg a 2) lépést.
- 5) A túllógó lap-részekre csíptessünk krokodilcsipeszeket. Mesterséges fényforrásokkal teszteljük a napelem-cellát!

F.2. Fizikatanításban felhasználható digitális tartalmak fejlesztése

Az 1. fejezet: Tananyagnévjegy, Szöveg, Jegyzet, Gyakorló feladat

Az 1. fejezet Tananyagnévjegye

Tantárgy	Fizika
Tananyag címe	De tényleg ! Hol vagy ? 01. fejezet
Szerző neve	Csernovszky Zoltán
Ajánlott évfolyamok	9–10
Kerettantervi kapcsolódás	Tájékozódás égen-földön
CÉLOK	
Képességfejlesztés	Szókincsfejlesztés; mondat szerkesztés ; fogalomalkotás
Ismeretek	hely, idő, koordináta-rendszer
KULCSFOGALMAK, CÍMKÉK	navigáció, műholdak. GPS, atomóra, koordináták

TARTALOM

A tájékozódási módszerek és eszközök történetét és fejlődését mutatja be a szöveg. Fókuszai a geometriai alkalmazások, az időmérés és a műholdak történetének vázlatos bemutatása. Ez utóbbira a körmozgások és a gravitáció tárgyalásánál is építhetünk. A csillagképek ismerete és a csillagok látszólagos mozgása a bolygómozgás kinematikájához jelent kiindulási alapot.

Az igényektől függően a megadott szöveg-, a hozzá kapcsolódó jegyzetek- és a konkrét helymeghatározási feladatok feldolgozásával megismerkedhetünk a műholdak típusaival, különböző tájékozódási szoftverekkel, időmérő eszközökkel és a GPS-rendszer alapjaival.

A tananyag szöveges része tanórán vagy fakultációs keretek között frontálisan, csoportmunkában, de otthoni felkészülést igénylő munkával is feldolgozható. A tesztfeladatok tanórai felhasználásával ellenőrizhetjük a szöveg megértését. Fakultációs vagy szakköri feldolgozása egyénileg is történhet.

A Google Earth és a Stellarium szoftverek ingyenesen letölthetőek. Mindkettő magyar nyelvű menüvel is rendelkezik. Menürendszerük gyors bemutatásához projektor javasolt.

Az 1. fejezet Szövege

01___ MELLÉKLET ___ 01. DE TÉNYLEG! HOL VAGY?___SZÖVEG

Arra az egyszerű kérdésre, hogy "Hol vagy?", hihetetlenül sok válasz adható. A leggyakoribb mégis, koroktól és kultúráktól függetlenül, az "Itt."

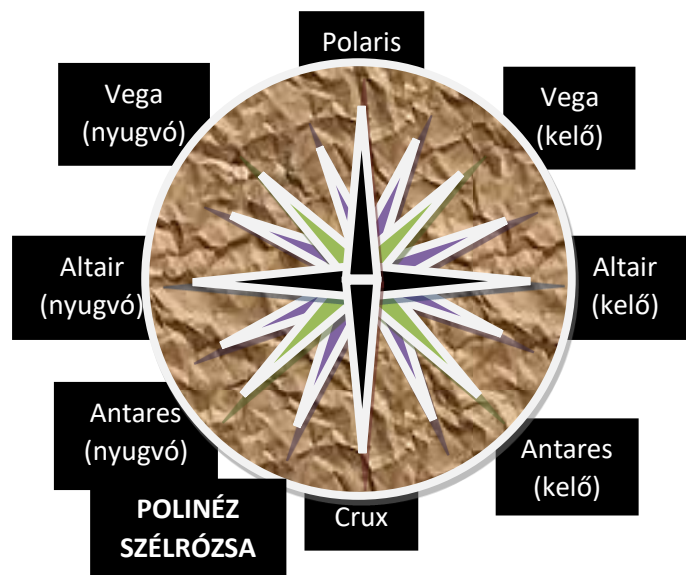
Ezzel a frappáns szóval válaszolt az a hajóskapitány is, aki a körös-körül csak tengert látó Szent Lajos király "Hol vagyunk?" kérdésére az előtte heverő tengerészeti térkép egy pontjára bökött. Majd hozzátette: "Amennyiben Felséged már napkeltekor méltóztatik elhagyni ágyát, megláthatja majd a pogányok partvidékét."

Mivel ez a 13. században történt a Földközi-tengeren, nagyon valószínű, hogy a kapitány tájékozódását a térképen kívül segítette egy szögmérő eszköz (kvadráns vagy Jákob-pálca), egy szélrózsa és egy iránytű¹.

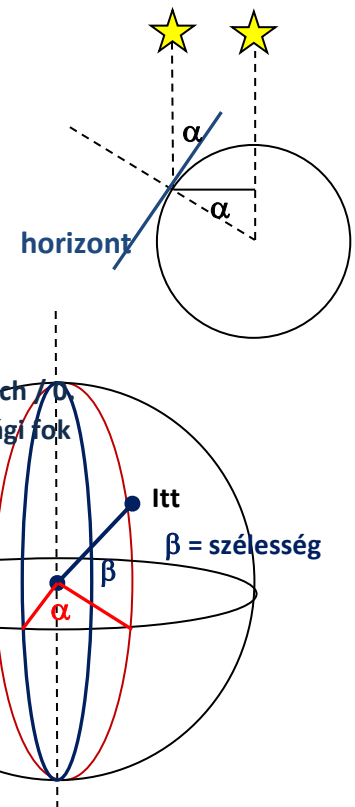
Később a szélességi és hosszúsági körök pontos meghatározása lett a „Hol vagy?” kérdésre adott válasz alapja. Az előbbi a horizont és a Sarkcsillag irányának szögéből könnyen mérhető.

Az utóbbi a Nap delelési idejétől függ, tehát időmérésre vezethető vissza. (A Greenwich-en áthaladó 0. hosszúsági körtől minél keletebbre megyünk, a Nap delelése annál hamarabb következik be.) Ennek meghatározásához olyan pontos óra kell, amelyik a négyhónapos India-Anglia úton kevesebb, mint 2 perc eltéréssel működik, mondta ki a Royal Scientific Society, és egy ilyen óráért mesés jutalmat tűzött ki. Ezt a pontos órát, a kronométert végül John Harrison alkotta meg 1730-ban, amely ezután 250 éven keresztül a helymeghatározás legfontosabb eszköze lett.

A polinéz szigetvilágban a Navigátor az évszakokkal együtt változó csillagképek² alapján irányítja akár több hetes útja során is a pirog legénységét.



Nem ritka, hogy eközben semmiféle szárazföld sem látható. A tájékozódási irányokat a csillagok és az elérni kívánt sziget neve együttesen határozza meg. Az így kapott szélrózsát a szigeten értékes korallokból rakják ki és ezt felhasználva képezik ki a következő hajósnemzedéket. Teljesen fedett égbolt esetén a tájékozódásuk alapja a hullámváz iránya, a madarak vonulási iránya vagy a tengerszint változása lehet. Nem véletlen, hogy a korszak legmodernebb eszközeivel felszerelt, Ausztráliát felfedező James Cook-ot egy polinéz Navigátor, Tupaia segítette a tájékozódásban. Az égbolt legfényesebb csillaga a Szíriusz például Tahiti csillaga volt.



A GPS elterjedésével már a repülőgép pilótájának sem kell az „Adja meg a magasságát és helyzetét!” kérdésre azt válaszolnia, hogy „180 centi és itt ülök a pilótafülkében ...”, hiszen legalább 24, a Föld felszíne felett 20 000 km-rel keringő műhold vesz részt abban, hogy bárhol a világon meg lehessen határozni a szélességi- és hosszúsági koordinátákat és a tengerszint feletti magasságot.

Ehhez persze a repülő a műholdak³ rádiójeleit fogó vevő-készülékkel van felszerelve. Egyszerre legalább négy, atomórákkal⁴ ellátott műhold jelét kell e vevőkészüléknek analizálni ahhoz, hogy egyértelműen és pontosan meg tudja határozni a helyzetét. A vevő maga passzív, nem ad ki jelet, bemérni valakit vagy valamit csak a vevő-készülék alapján nem lehet.

A négy műhold közül három a térbeli koordináták kiszámításához, a negyedik a vevő és a műholdak óráinak szinkronizálásához kell. A magasság igen pontos meghatározásához nagyfelbontású gravitációs térképet használnak. A GPS-koordináták⁵ egy Föld-középpontú, háromdimenziós koordináta-rendszerben adnak pontos értelmet az „Itt” válasznak.

Az 1. fejezet Jegyzetei

02 _____ MELLÉKLET _____ JEGYZETEK _____ SZÖVEG

¹Tájékozódási eszközök a középkorban

A szélrózsza a szélirányok jelölésére szolgál, a fő világtájak feltüntetésével. A látóhatár körét négy egyenlő részre osztva, majd azokat tovább felezve kapjuk a szélrózsát.

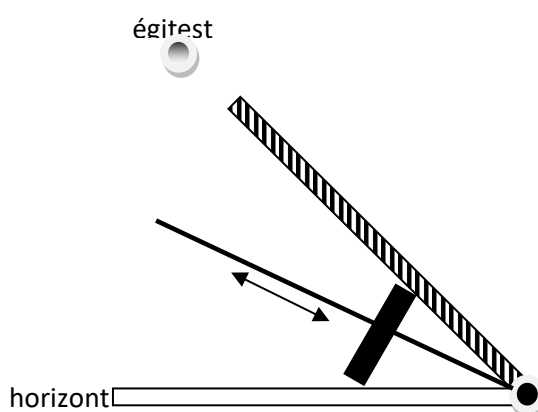
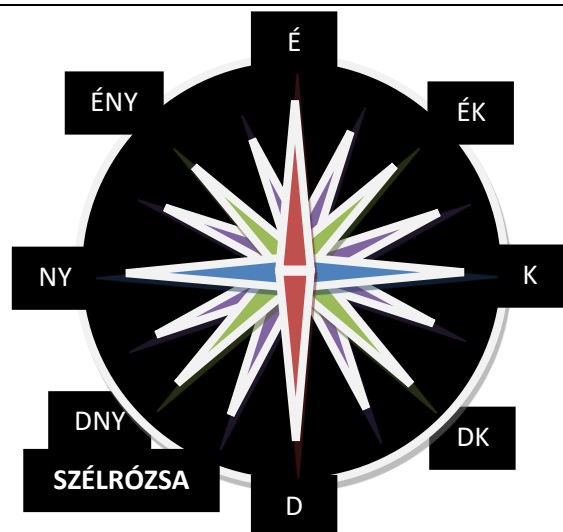
Később szokássá válik ezt a térképeken feltüntetni, majd a kínai hatásra elterjedő mágneses iránytűvel, a mindig-dél-felé-mutató-kézzel kiegészítve tájolóként használják.

Az égitestek horizont feletti látószögének meghatározására szolgált a skálával ellátott negyed körív, a kvadráns. Ennek ismeretében a hajó földrajzi szélessége kiszámolható. A kapitány használta kézi kvadráns kis mérete és a skála egyenletlensége csak a szög körülbelül meghatározást tette lehetővé.

Az ábrán látható Jákob-pálcával pontosabban lehet szöget mérni, használata azonban nagyobb gyakorlatot igényel.

²Sarkcsillag / Csillagképek

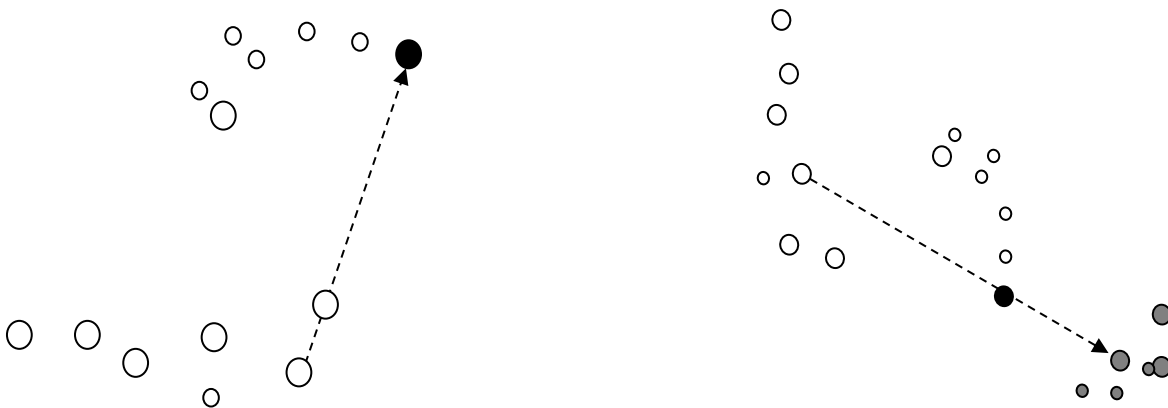
A fényszennyezés miatt ma már csak a városoktól távol használhatjuk a csillagos eget a tájékozódásra. Az északi féltekén a



megfigyelőnek úgy tűnik, mintha a Sarkcsillag (Polaris) körül forogna az égbolt (a délin a Dél Keresztje (Crux) csillagkép körül). Ezek mutatják az északi/ déli irányt. Szabad szemmel a teljes égbolton mintegy 5000 csillag látható.

Részlegesen fedett égbolt esetén az égbolt látható része alapján kell tájékozódni. Ehhez nyújtanak segítséget a jellegzetes csillagcsoportok, a csillagképek. A teljes égbolt 88 csillagképéből 21 egyáltalán nem, 11 csak részben látható Magyarországról. Az északi irányt mutató Sarkcsillag a Kismedve (Ursa Minor) csillagkép egy csillaga, az egész év során látható.

A Göncölszékér segítségével megtalálható a Polaris. A szekér hátoldalát irányban 5-6-szor felmérve jutunk a Sarkcsillaghoz, a Polarishoz. Most már jöhet egy másik cirkumpoláris csillagkép a Kassiopeia megtalálása is, a jobb oldali ábrán mutatott módon.



³Műholdak

A Föld (vagy más bolygók) körül keringő mesterséges égitestek. A felszínhez közeli körpályára állításhoz a Földön mintegy 8 km/s sebesség szükséges. Az első műhold az 1957-ben felfűtött Sziputyik volt. Azóta műholdak ezreit használják tudományos, meteorológiai, katonai, távközlési, térképészeti és navigációs célokra.

A műholdak valójában ellipszispályán mozognak melyeket a pályasíkon kívül a fél-nagy tengely és a keringés periódusideje jellemez. Mozgásuk a Kepler-törvényekkel és Newton gravitációs törvényével írható le.

Az egyenlítői pályasíkokban keringő távközlési műholdak 36 000 km-rel a földfelszín felett keringenek, de még ezek mozgását is igen jól közelíti az egyenletes körmozgás. Mivel a Földdel szinkronban keringenek, 24 órás periódussal, ezért a műsorszórónak elég egyszer bemérni a műholdat, hogy aztán az a Föld egy másik régiója felé közvetítse az adást.

A navigációs műholdak különböző síkú pályákon keringenek a Föld körül. Adott frekvencián sugározzák aktuális pozíciójukat és a jelkibocsátás pontos idejét. Ebből kell a vevőkészüléknek meghatároznia azt, hogy milyen messze van a műholdtól.

⁴Atomórák

A helymeghatározásnál minden egyes ezredmásodperc eltérés a vevő és a navigációs műhold között 300 méter pontatlanságot eredményez. A 2014-től működő európai navigációs rendszer, a Galilei, 1 méter pontossággal lesz képes meghatározni egy objektum helyzetét!

Az időmérés történetében hosszú és rögös út vezetett idáig. Melyik legyen az a jelenség,

amelyik periodikus, nagyon stabil és igen rövid időtartamú? A Holdtölte (1 hónap)? Két delelés vagy két napfelkelte között eltelt idő (1 nap)? Ezek mind túl hosszúak. A pulzus? Megbízhatatlan. 1 méter hosszú inga fél periódusa (1 másodperc)? Nem hordozható. Mechanikus órák (napi 1 sec pontosság)? Ma már nem elég pontosak. Csiszolt kvarckristály rezgése (sok millió rezgés másodpercenként? Jól hangzik.

Az SI (nemzetközi mértékegység-rendszer) az 1 másodpercet úgy definiálja, mint a 133-as tömegszámú cézium izotóp átmeneti rezgési periódusidejének 9.192.613.770-szeresét. Az atomóra e periódusidőt méri. Az atomóra annál pontosabb, minél alacsonyabb hőmérsékleten működik. A legpontosabb atomóra 2 millió évente késik 0,1 másodpercet és 1 milliommód kelvin hőmérsékleten működik.

⁵GPS-koordináták

A műholdas helymeghatározás alapja a rádióhullám kibocsátása és megérkezése között eltelt idő mérése. Majd a rádióhullám sebességének ismeretében a vevő és a műhold távolságának meghatározása.

A használt koordináta-rendszer középpontja a Föld középpontja, az egyik tengely a Föld forgástengelye, a másikat a kezdő-meridián és az Egyenlítő metszéspontja határozza meg. A harmadik tengelyt a Föld geoid alakjához illeszkedő forgás-ellipszoid tengelye határozza meg.

A gyakorlatban használt GPS-adatok a hagyományos földrajzi szélességi és hosszúsági fokok. Ezekkel helyzetünk térképen is ábrázolható. A tengerszint feletti magasság figyelembe vételével például a sebesség-értékek is követhetőek.

03__ MELLÉKLET__ FELUGRÓ SZÖVEG (A projekt teljesítése után)__SZÖVEG

James Cook és az Endeavour hajó (magyarul Törekvés) 1769-es küldetésének természettudományos célja volt: nevezetesen a Vénusz áthaladásának megfigyelése.

Ha a Föld két ismert távolságra lévő pontjából le tudjuk pontosan mérni azt, hogy mennyi idő alatt halad át a Vénusz a Napkorong előtt, akkor geometriai módszerekkel meghatározható a Föld és a Vénusz távolsága. Ebből a Nap - Föld távolság és a Nap tömege is kiszámolható.

Az angol Horrocks figyelte meg elsőként a Vénusz Napkorong előtti áthaladását 1639-ben, miután Kepler törvényei alapján pontosította a bolygó pályáját. Tőle származik a fenti geometriai módszer kidolgozása is.

Hogy miért a Vénusz? Mert a másik szóba jövő jelölt, a Merkúr túl gyorsan vonul át a Nap előtt (kb. három óra alatt, míg a Vénusz esetében ez mintegy 7 óra).

A megfigyelés(ek) sikeres(ek) volt(ak), de a korabeli eszközök pontatlansága miatt, a ma elfogadott Nap - Föld távolságnál (149 millió km) mintegy 10 %-kal kisebb értéket sikerült csak meghatározni.

Az 1. fejezet Gyakorló és Fő feladatafeladata

01. FEJEZET / GYAKORLO FELADAT				
Struktúra, leíró adatok	Évfolyam		9.-10.	
	Kerettantervi kapcsolódás		Tájékozódás égen és földön	
	Képességfókusz, ismeretfókusz		Adatgyűjtés, adatok rendszerezése, adatok rangsorolása, (lényegkiemelés), az adatok között összefüggés-teremtés megadott szempontok alapján	
	Ajánlott időráfordítás		45	
	A feladat differenciáló funkciója		Csoportmunka, tehetséggondozás	
	A feladat sorszáma		2 (10_02)	
Cím:	Kövesd James Cook-ot a földgömbön!			
A tanulóknak szóló instrukció:	A megadott válaszok közül válaszd ki a helyeset! A helyes válasz után megkapott koordinátákkal folytasd a világ körüli utat!			
Forrásmegjelölés	SAJÁT.			
ÁLLITASOK (Igaz vagy hamis alatti cellába tegyen *-ot)				
Szöveges állítás		Médiaelem	Igaz	Hamis
• Melyik csillagkép csillaga aPolaris ?		Kis Medve	x	
		Kassziopeia		x
		Oroszlán		x
• A GPS helymeghatározáshoz használt műholdak a Föld felszíne felett hány km-rel keringenek ?		6370 km		x
		20 000 km	x	
		36 800 km		x
• Melyik században készült el az első kronométer ?		16.		x
		17.		x
		18.	x	
• Milyen navigációs eszközt használhatott a Tahitin hajóra szálló Tupaia ?		kvadráns		x
		térképet		x
		csillagképeket	x	
• Melyik csillagképet láthatta James Cook Wellingtonból a Dél Keresztje felé fordulva ?		a Kentaurt	x	
		az Ikreket		x
		a Kis Medvét		x
• Mekkora a távközlési műholdak keringési ideje?		1 óra		x
		12 óra		x
		24 óra	x	
• Mekkora a Galilei navigációs rendszer tervezett pontossága ?		1 méter	x	
		10 méter		x
		100 méter		x
• Kinek a törvényével / törvényeivel írható le a műholdak Föld körüli mozgása?		Galilei		x
		Gay-Lussac		x
		Kepler	x	

FŐ FELADAT / 01. fejezet																										
Struktúra, leíró adatok	Évfolyam	9.-10.																								
	Kerettantervi kapcsolódás	Tájékozódás égen-földön / 01. fejezet																								
	Képességfókusz, ismeretfókusz	Adatgyűjtés, adatok rendszerezése, adatok rangsorolása (lényegkiemelés), az adatok között összefüggés-teremtés megadott szempontok alapján																								
	Ajánlott időráfordítás	1 tanóra																								
	A feladat differenciáló funkciója	Csoportmunka, tehetséggondozás																								
	A feladat sorszáma	1																								
Cím:	De tényleg, hol vagy ?																									
A feladat tanulóknak szóló instrukciója:	Olvasd el a szöveget, nyisd meg a Google Earth navigációs programot. A megadott GPS-koordináták alapján kövesd James Cook világkörüli útját az Endeavour hajó fedélzetén! Minden állomáson egy tesztkérdést kell megoldanod a továbbhaladáshoz!																									
Forrásmegjelölés	SAJÁT (S_01_M_TK_CSZ, Szöveg, Jegyzet)																									
A feladat működésének leírása. (Informatikusoknak szól)	Az 1. város GPS-koordinátái: 50°21'44.83 É / 4°09'05.05" NY. A város neve: Plymouth. Ezt begépelve kapja meg az 1. tesztkérdést a játékos. (A tesztkérdések a Sablonban találhatóak. Egy kérdés – egy helyes válasz típusúak. Helyesen megoldva kapja meg a 2. város GPS-koordinátáit ...)																									
	<table><tr><th colspan="2">GPS</th><th>Város</th></tr><tr><td>22°57'32.95"D</td><td>43°49'11.51"NY</td><td>Rio de Janeiro</td></tr><tr><td>55°58'52.75"D</td><td>67°14'41.56"NY</td><td>Horn-fok</td></tr><tr><td>17°41'43.58"D</td><td>149°20'18.90"NY</td><td>Tahiti</td></tr><tr><td>41°40'04.96"D</td><td>175°31'20.98"K</td><td>Wellington</td></tr><tr><td>41°57'06.95"D</td><td>147°52'08.90"K</td><td>Tasmania</td></tr><tr><td>8°17'18.98"D</td><td>111°13'18.99"K</td><td>Jáva (Batavia)</td></tr><tr><td>34°10'40.56"D</td><td>18°44'29.41"K</td><td>Fokváros</td></tr></table>		GPS		Város	22°57'32.95"D	43°49'11.51"NY	Rio de Janeiro	55°58'52.75"D	67°14'41.56"NY	Horn-fok	17°41'43.58"D	149°20'18.90"NY	Tahiti	41°40'04.96"D	175°31'20.98"K	Wellington	41°57'06.95"D	147°52'08.90"K	Tasmania	8°17'18.98"D	111°13'18.99"K	Jáva (Batavia)	34°10'40.56"D	18°44'29.41"K	Fokváros
	GPS		Város																							
	22°57'32.95"D	43°49'11.51"NY	Rio de Janeiro																							
	55°58'52.75"D	67°14'41.56"NY	Horn-fok																							
	17°41'43.58"D	149°20'18.90"NY	Tahiti																							
	41°40'04.96"D	175°31'20.98"K	Wellington																							
	41°57'06.95"D	147°52'08.90"K	Tasmania																							
	8°17'18.98"D	111°13'18.99"K	Jáva (Batavia)																							
34°10'40.56"D	18°44'29.41"K	Fokváros																								
Egyedi visszajelzés (Az utolsó, fokvárosi kérdésre is válaszolva egy „Visszaértél Plymouth-ba! Megcsináltad! „ feliratot kérek valamint az alábbi szöveg felugrását: _____03_____ MELLÉKLET (SZÖVEG)																									
Javaslat a tanároknak	A feladat elkezdése előtt telepítse a Google Earth (www.google.com/earth/) programot, amelynek segítségével a navigáció történik. Természetesen térkép segítségével is megtalálhatóak a földrajzi helyek nevei. A tesztkérdések csillagképes feladatait a Stellarium (www.stellarium.org) programmal oldhatjuk meg. Az egeret a bal alsó sarokba húzva a függőleges menüsoron a Megfigyelési hely (F6) beállításával adhatjuk meg a helyszínt. A vízszintes menüsor jobb szélső gombjaival változtathatjuk a megfigyelés idejét. Ugyancsak a vízszintes menüsoron állíthatjuk be a csillagképek neveinek megjelenítését és csillagjainak összekötését.																									

F.3. Fizikatanításban felhasználható digitális tartalmak fejlesztése

2. fejezet: Tananyagnévjegy, Szöveg, Jegyzet, Feladatok

A 2. fejezet Tananyagnévjegye

Tananyag címe	Sebességfogalom és a KRESZ, 02. fejezet
Szerző neve	Csernovszky Zoltán
Ajánlott évfolyamok	9–10
Kerettantervi kapcsolódás	A közlekedést érintő kinematikai problémák
CÉLOK	
Képességfejlesztés	Szókincsfejlesztés; mondatszerkesztés
Ismeretek	
KULCSFOGALMAK, CÍMKÉK	sebesség, viszonyítási rendszer, kresz, traffipax, GPS
TARTALOM	

A sebességfogalom mélyítését és kiterjesztését segíti elő a tananyag feldolgozása.

Az igényektől függően a megadott szöveg-, a hozzá kapcsolódó jegyzetek- és a konkrét mérések elemzését segítő videó feldolgozásával megismerkedhetünk a mozgás relativitásával, különböző sebességmérő eszközökkel és az SI mértékegységgel.

A tananyag szöveges része tanórán vagy fakultációs keretek között frontálisan, csoportmunkában, de otthoni felkészülést igénylő projektmunkával is feldolgozható. A videóban bemutatott mérésértékelési módszerek tanórai felhasználásához tanári segítség javasolt. Fakultációs vagy szakköri feldolgozása egyénileg is történhet.

A mérésértékeléshez projektor és számítógép használata javasolt.

A 2. fejezet Szövege

01 _____ MELLÉKLET _____ 02. A SEBESSÉGFOGALOM ÉS A KRESZ _____ SZÖVEG

Szőke Nő lakott területen személyautót vezet. Meglehetősen gyorsan hajt. Bemérik traffipax-szal¹, majd leállítja a rendőr, és azt mondja neki:

Rendőr: – Jó napot kívánok! Hölgym, Ön óránként 70 kilométerrel ment, kérem az iratait!

Szőke Nő: – Biztos úr, az lehetetlen! Hogy mehettem volna 70 kilométert óránként, amikor csak 10 perce indultam!

Rendőr: – Úgy értem, ha így haladna még 1 óráig, ahogy most, akkor 70 km-t tenne meg.

Szőke Nő: – Jó vicc! Ha így haladnék tovább, ahogy mentem, akkor 1 perc múlva felkenődnék a falra, mert balra kanyarodik ott az út!

Rendőr: – Ugyan, Hölgym! Azt is mondhatom, hogy ha így haladt volna tovább, akkor a következő másodpercben 19,44 métert tett volna meg. 19,44 méterig még egyenes az út, nincs kereszteződés, úgyhogy adom a csekket! Vagy a helyszíni bírságot választja?

Szőke Nő: – Ööö, ne adjon semmiféle csekket, hiszen semmilyen törvény nem tiltja, hogy másodpercenként 19,44 métert vagy többet tegyek meg a kocsimmal.

Rendőr: – Íme, itt a törvény! (Megmutatja a kinyomtatott változatot).

Sebességhatárok 2013 – a megengedett legnagyobb sebességek az egyes utakon

A törvény szerint: az egyes járművekkel –, ha a rendelet másként nem rendelkezik –

legfeljebb a következő sebességgel szabad közlekedni:

1. Személygépkocsival, motorkerékpárral, valamint 3500 kg megengedett legnagyobb össztömeget meg nem haladó gépkocsival:

autópályán 130 km/óra	autóúton 110 km/óra
lakott területen kívül egyéb úton 90 km/óra	lakott területen 50 km/óra

Ugye nem várja el a rendőrségtől, hogy a világ összes létező mértékegységében megadjuk a sebességhatárokat? Gondoltam Ön az SI² mértékegységrendszer alapegységeit részesíti előnyben, ezért váltottam át méter per szekundumra az Önre vonatkozó sebességhatárt. De ha a pillanatnyi sebesség³ fogalmának ismeretével akar felválni, akkor nyugodtan folytassa a gondolatmenetet egyre rövidebb időtartamokkal és távolságokkal, vagy akár elmozdulásvektorral!

Szőke Nő (felcsillanó szemmel): – Jaj, ne vicceljen már! Nincs benne a törvényben, hogy melyik viszonyítási rendszert⁴ használják! Miért pont a traffipaxhoz vagy magához viszonyítsuk a sebességem? Én magamhoz viszonyítok mindent. Magamhoz képest viszont nyugalomban voltam. De jó, egyezzünk ki egy köztes megoldásban, és viszonyítsuk a sebességeket a Föld vagy a Nap középpontjához! Ezekben az esetekben még a parkoló autókat is megbüntethetné, hiszen a Föld forgásából származó sebességük közel 1200 km/h, a Nap körül keringésből pedig, még kimondani is borzalom, majd' 30 000 m/s, azaz 108 000 km/h! Én mindent megtettem, hogy csökkentsem a sebességem, ezért száguldoztam Nyugat felé, hiszen a Föld Kelet felé forog ... Na? Viszlát, üdvözlöm a főnökét!

Rendőrség (felcsillanó szemmel): – Ne olyan sietősen, hölgyem! Látom, van GPS az autójában. A Rendőrség mentesülési körülménynek tekinti a GPS adatokból számított sebességértékeket! Bizonyítsa ezekkel, hogy betartotta a törvényt! Jelzem, hogy ezeket az adatokat négy távközlési műhold határozza meg, emiatt egy Föld középpontú, vele együtt forgó viszonyítási rendszerben adják meg a koordinátákat és a sebességét! Viszlát, a legjobbakat!

Szőke Nő (maga elé morogva): Fenébe ezzel a GPS-szel!

A 2. fejezet Jegyzetei:

02 _____ MELLÉKLET _____ JEGYZETEK _____ SZÖVEG

¹ Sebességmérők, sebességmérés

Hogyan működik a traffipax?

A traffipaxos sebességmérés alapja az, hogy a mozgó hullámforrás frekvenciája megváltozik. A traffipax kibocsátotta ultrahang vagy lézer (elektromágneses hullámok) visszaverődik a mozgó kocsiról, így már csak az ismert frekvencia megváltozásából kell következtetni a sebességre.

Jó tudni, hogy 2012. szeptember 1.-től érvényes törvényi szabályozás a következőket mondja ki: „Tilos a közúti közlekedés hatósági ellenőrzését megakadályozni, megzavarni, valamint az ellenőrzés eredményét befolyásolni, ide nem értve az ellenőrzést előre jelző eszközök használatát.”

A radar- és lézerdetektorok akár több száz méterrel is előre tudják jelezni a sebességmérő eszközöket, így lehetőségünk van esetlegesen korrigálni a haladási sebességünket, de ezek az

érzékelők semmilyen körülmények között nem akadályozhatják vagy zavarhatják a hatósági ellenőrzést. Ennek értelmében a radar- és lézerdetektorok használata nem tiltott.

Hogyan működik az autó sebességmérője?

Kell egy gomb-mágnes és egy mágnes-érzékelő. A mágnest a kerékre kell erősíteni, az érzékelő a karosszérián rögzített. A gomb forog körbe az ismert kerületű kerékkel, az érzékelő továbbítja, hogy milyen időközönként halad el a gomb mellette. A csatolt áramkör kiszámolja ezekből a sebességet (kerület/ időtartam).

² Az SI - mértékegység-rendszer

SI azaz *Système International* (Nemzetközi Mértékegységrendszer). Hét [SI-alapegység](#) van:

SI alapegységek			
mértékegység neve	jele	mennyiség neve	mennyiség jele
méter	m	hossz	l (kis L)
kilogramm *	kg	tömeg	m
másodperc	s	idő	t
amper	A	elektromos áramerősség	I (nagy i)
kelvin	K	abszolút hőmérséklet	T
mól	mol	anyagmennyiség	n
kandela	cd	fényerősség	I _v

Ezzel a hét alapegységgel több származtatott egységet lehet létrehozni. Az SI mértékegységeken kívül több nem SI mértékegység is használatos az SI-vel összhangban. Ilyen a km/h is.

1976-ban kiadták a 8/1976.(IV. 27) MT. sz. minisztertanácsi rendeletet, amely előírta az SI rendszerre való kötelező áttérést. Ez a rendelet az SI kizárólagos, kötelező használatát (azaz más mértékegységek használatának tilalmát) 1980. január 1-jétől írta elő. A [Magyar Köztársaság](#) országgyűlése az 1991. évi XLV. törvény 1. mellékletében ismét meghatározta a szabványos magyar mértékegységrendszer alapjait, az 1976 óta ismertté vált tudományos eredmények figyelembevételével. Jelenleg (2013-ban) ez az idevágó joghatályos előírás.

³ Sebességfogalom

A sebesség fogalmát érdemes először egyenes vonalú egyenletes mozgást végző buborék sebességén megérteni: út/idő. Ezután ezt kiterjeszteni, mint egyirányú, egyenes vonalú mozgás átlagsebességét: összes út/ összes idő. Ezt rövid időtartamra meghatározva, szabadesés vagy lejtőn guruló golyó vizsgálatával, jutunk el a pillanatnyi sebesség fogalmához. A következő lépés lesz a sebesség irányának meghatározása (sebesség-vektor) majd az összetett mozgások sebessége (sebesség-vektorok összeadása).

⁴Viszonyítási rendszerek

A mozgás leírása előtt ki kell jelölnöd a viszonyítási rendszert ahol a mozgó test helyzetét illetve sebességét meg tudod határozni. A vizsgált mozgás típusa és időtartama határozza ezt meg. Járművek sebességének méréséhez rövid időtartamra van szükség és általában egyenes pályán mérnek. A használt viszonyítási rendszer tehát ideális esetben a talajhoz rögzített viszonyítási pontot valamint a mozgás egyenesével egybeeső tengelyt alkalmaz.

⁵GPS és használata sebesség meghatározására

Rövid időtartamra a GPS-koordinátákból a jármű megtett útja jól megbecsülhető majd az időtartammal osztva határozható meg a sebesség. A problémákat a GPS-koordináták pontos meghatározása okozza.

03 **MELLÉKLET** **SAJÁT VIDEO** **VIDEO**

A 2. fejezet Fő- és Gyakorló feladatai

02. FEJEZET / FŐ FELADAT		
Struktúra, leíró adatok	Évfolyam	9.-10.
	Kerettantervi kapcsolódás	A közlekedést érintő kinematikai problémák
	Képességfókusz, ismeretfókusz	Adatgyűjtés, adatok rendszerezése, adatok rangsorolása (lényegkiemelés), az adatok között összefüggés-teremtés megadott szempontok alapján Mérés és összehasonlítás képessége
	Ajánlott időráfordítás	1-2 tanóra
	A feladat differenciáló funkciója	Különösen ajánlott tehetség gondozáshoz
	A feladat sorszáma	1
	Cím:	Sebességfogalom és a KRESZ / Kinematikai mérések és kiértékelésük
A feladat tanulóknak szóló instrukciója:	Olvasd el a párbeszédet, nézd meg a videót! Vázold ezek segítségével a sebességfogalom fejlődését! Válassz ki egy olyan kísérletet, amelyet be is tudsz mutatni! Elemezd!	
Forrásmegjelölés	SAJÁT (S_02_M_TK_CSZ, Párbeszéd, Jegyzet, Video)	
Javaslat a tanároknak	A videóban szereplő kísérletek: <ul style="list-style-type: none"> – buborék egyenletes mozgása Mikola-csőben – ejtőzsinór csavarokkal (talajtól 16, 4x16, 9x16 és 16x16 cm-re rögzítve) – golyó egyenletesen gyorsuló mozgása lejtőn Az idő mérése részidőt mérő mobiltelefonnal, az ejtőzsinór esetében az Audacity programmal történt. A mérési adatokat a Sine qua non függvényábrázoló programmal értelmeztem. A javasolt fogalmi fejlődés: egyenes vonalú mozgás sebessége; átlagsebesség; pillanatnyi sebesség. Sebességvektor egyenes vonalú mozgások majd összetett mozgások esetén.	

GYAKORLÓ FELADAT / 02. FEJEZET		
Struktúra, leíró adatok	Évfolyam	10.(1. évfolyam)
	Műveltségi terület	Ember és természet / Fizika
	Kerettanterv	A közlekedést érintő kinematikai problémák
	Képesség, ismeretfókusz	Az információk kiválasztása
	Ajánlott időráfordítás	15 perc
Cím:	Sebességek, mértékegységek, sebességkorlátok	
A feladat száma	csz_term_10_03_0811	
Tanulóknak szóló instrukció:	Rendezd sorba a sebességskálán a megadott sebességértékeket! Figyelj az skálán található eltérő sebesség-mértékegységekre!	

Ha az instrukciónak része grafika, kép, ábra, annak leírása, mintakép beillesztése, a működés leírása	<div><div>0. 0 m/ s</div><div>2. 1 cm/ s</div><div>4. 1 m/ s</div><div>6. 1000 km/ h</div><div>8. 100 km/ s</div><div>1. 1 mm/ nap</div><div>3. 1 km/ h</div><div>5. 100 km/h</div><div>7. 1 km/ s</div><div>9. 300 000 km/s</div></div>
A feladat működésének leírása. (Informatikusoknak szól)	Erre a sebességskálára kellene elhelyezni a lenti táblázatban szereplő sebességértékeket. A négy függőleges színes vonal a személygépkocsikra, motorkerékpárokra, 3500 kg-nál kisebb tömegű járművekre érvényes sebességhatárokat jelöli. A hozzájuk tartozó szövegek is behúzható képként szerepeljenek.
ELEMEEK (HELYES SORREND BEN)	
Szöveges elem szövegsorrendezés esetén	A médiaelem leírása/minta
1. 0 m/s	Szikla (0 m/s , nyugalom) (1.fölé)
2. 1 mm/nap	Haj növekedési sebessége.(0,4 mm/nap) (1.-2. Közé)
3. 1 cm/s	Éti csiga sebessége. (kb. 0,25 cm/s) (2.-3. Közé)
4. 1 km/h	Lajhár sebessége (kb. 10 cm/s) (3.-4. Közé)
5. 1 m/s (3,6 km/h)	Sétáló emberek sebessége (kb. 3 km/h) (4.-5. Közé)
50 km/h sebességhatár lakott területen	
90 km/h sebességhatár lakott területen kívül	
6. 100 km/h	Sprinterek sebessége. (kb. 40 km/h) (5.-6. közép)
110 km/h sebességhatár autópályán	
130 km/h sebességhatár autópályán	
7. 1000 km/h	Gepárd sebessége (kb. 110 km/h) (6.-7 közép)
8. 1 km/s	Hang sebessége (kb. 1200 km/h = 330 m/s) (7.-8. közép)
9. 100 km/s	Űrhajó szökési sebessége (8 km/s) (8.-9. közép)
10. 300 000 km/s	Fény vízben, terjedési sebessége (225 000 km/s) (9–10. közép)
	Fény vákuumban, terjedési sebessége (300 000 km/s, sebességhatár) (10. alá)

F.4. Fizikatanításban felhasználható digitális tartalmak fejlesztése

Komplex projekt-szintű feladatok

PROJEKT FELADAT / 02. FEJEZET		
Struktúra, leíró adatok	Évfolyam	9–10.
	Kerettanterv	A közlekedést érintő kinematikai problémák
	Képesség, ismeretfókusz	Szókincsfejlesztés; mondat szerkesztés
	Ajánlott időráfordítás	2-3 tanóra
	Eszközigény	Internet, számítógép, projektor
	A projekt sorszáma	
A projekt :	Sebességfogalom és a KRESZ	
A projekt produktuma :	Jelenet bemutatása/ Tablók készítése/ PPT-bemutatók/ Kísérletek bemutatása/ Interjúk	
Projektleírás	A viszonyítási rendszerek szerepének bemutatása a sebesség meghatározásában. Az SI mértékegységrendszer-, és sebességmérő eszközök bemutatása.	
Számítógép es munkát nem igénylő feladatok, tevékenységek	<ul style="list-style-type: none">• A párbeszéd előadása• Sebességmérők működésének ismertetése a jegyzet alapján• Sebességmérés: hogyan működik a traffipax – interjú készítése közlekedési rendőrrel.• Az SI mértékegységrendszer: ismertetése, törvényi háttér bemutatása, más sebesség-mértékegységek (angolszász országok, hajózás, tudományos élet...)	
Számítógép es feladatok	Internetes keresés, valamint interaktív feladatok, demonstrációk sablonokban megjelenítve	
Javaslat a tanároknak	<p>A párbeszéd megértéséhez nem feltétlenül szükséges az S_02_M_TK_CSZ című Matéria 02__Melléklet (Szöveg) Jegyzetek elolvasása!</p> <p>Javaslatok a feldolgozáshoz és kis csoportok kialakítására:</p> <ul style="list-style-type: none">– S_02_M_TK_CSZ című _Melléklet párbeszéd előadása (2-5 fő);– 5-8 fős csoportokban feldolgozva a párbeszédet, tegyenek javaslatot a KRESZ átalakítására: 1. Nap középpontú koordináta-rendszerben/ 2. Föld középpontú koordináta-rendszerben/ 3. Föld-felszínhez rögzített koordináta-rendszerben;– a csoportok ellenőrizték a szereplő adatokat és pontosítsák azokat.– Sebességmérők, sebességmérés: szemléltető ábrák, ppt bemutató; esetleg szakköri feldolgozásban interjú készítése közlekedési rendőrrel (Milyen traffipaxot használnak (lézer vagy ultrahangos)? Hol használják (rögzített vagy mobil)? Hogyan működik a traffipax? Visszatartó erőt jelent-e a traffipax használata? Találkozott-e jogos reklamációval? Ha igen, milyen mérési körülmények voltak?) (5-8 fő)– Az SI mértékegységrendszer: ismertetése, törvényi háttér bemutatása, más sebesség-mértékegységek (angolszász országok, hajózás, tudományos élet ...) (5-8 fő)– Sebességfogalom: a videóban szereplő kísérletek bemutatása/ elemzése, internetes keresés (szabadesés, Galilei, elmozdulás és út problémája, görbe érintője és pillanatnyi sebesség) (5-8 fő + tanári segítség)– Viszonyítási rendszerek és GPS: elsősorban a szövegben szereplő sebességértékek ellenőrzése, a közölt cikk bemutatása és elemzése a cél / a GPS ismertetése is lehet e csoport célja (2-3)+(3-5) fő	
PROJEKT FELADAT / 03. FEJEZET		
Struktúra, leíró	Évfolyam	9–10.
	Kerettanter	Egyszerű gépek a mindennapokban

adatok	Képességfókusz, ismeretfókusz	Az információk kiválasztása. A szövegek felhasználása más céllal vagy kontextusban. Logikus sorrend, következetes gondolatvezetés. Szókincsfejlesztés – szakszavak magyarázata, szemléltetése, elvont fogalmak megértése stb.,	
	Ajánlott időráfordítás	45 perc+otthoni felkészülés, 45 perc prezentáció	
	Eszközigény	Internet, számítógép, projektor	
	A projekt sorszáma	02	
A projekt címe:	Gályát a vízre!		
A projekt produktuma:	Tablók készítése az alábbi gálya vízrebocsátásának egyes lépéseiről. A tablók kövessék nyomon számolással is a folyamatot. / PPT vagy Prezi -bemutató készítése a megadott 03_Szöveg (pdf-prezi bemutató) felhasználásával		
Projektleírás, a projekt célja, rövid tartalma, tevékenységei	Hierón szüraküzai király 4000 tonnás hajóját vízre kell bocsátani. Ennek lépéseit kell megtervezni Arkhimédész emelőinek, csigáinak, lejtőinek segítségével. Figyelem! A legenda szerint ezt félkézzel (kb. 100 N) is el lehet érni ...		
Számítógépes munkát nem igénylő feladatok	<ul style="list-style-type: none">• Tablók készítése (1. tábló: Gálya mozgatása sík terepen; 2. tábló: gálya tengerre bocsátása)• Számítások, tervezések elvégzése; vázlatok rajzolása• Fényképek keresése újságokban, magazinokban egyszerű gépekről• Rajzok, vázlatok készítése egyszerű gépekről		
Számítógépes feladatok	Internetes keresés : <ul style="list-style-type: none">- a vízrebocsátás folyamata hajógyárakban (Wikipédia)- Szüraküza földrajzi elhelyezkedése (Google Earth)- képek keresése egyszerű gépekről (keresőprogramok)		
Javaslat a tanároknak	<ul style="list-style-type: none">– Érdemes először áttekinteni a teljes vízrebocsátás folyamatát.– Ezután ezt felosztani olyan részekre, amelyen belül egy – két javasolt egyszerű gép típust használ a csoport: mozgatás sík terepen (emelők, hengerkerék); leeresztés lejtős terepen a tengerre (ék, csigasor).– A diákok ezen típusokat ismertethetik, valamint hasonló működési elven működő használati tárgyakat: ék / csavar, balta egykarú emelő / csapóajtó, gépjármű emelő kétkarú emelő / pajszer, fogó állócsiga / lift, hajócsiga mozgócsiga / daru, edzőpad hengerkerék / kerekeskút, kerékpár- váltó– Becsüljük meg az egyes lépések során a kötelek maximális teherbírási igényét is.– Idő hiányában a projektet egyszerűsítsük le az arkhimédészi csigasor és alkalmazásainak bemutatására, ne feledkezzünk el a köteleket terhelő erőkről sem!		
PROJEKT FELADAT / 05. FEJEZET			
Struktúra, leíró adatok	Évfolyam	9–10.	
	Kerettantervi kapcsolódások	A közlekedést érintő dinamikai problémák / Hidro- és aerodinamikai jelenségek	
	Képességfókusz, ismeretfókusz	A szövegek felhasználása más céllal vagy kontextusban Az adatok között összefüggés-teremtés megadott szempontok alapján	

		Mérés és összehasonlítás képessége Az információk kiválasztása Szókincsfejlesztés – szakszavak magyarázata, szemléltetése, elvont fogalmak megértése
	Ajánlott időráfordítás	1 tanóra felkészítés, mérés (+ 1 tanóra verseny)
	Infrastrukturális és eszközigény	Internet, számítógép, projektor, digitális fényképezőgép vagy kamerás mobiltelefon
	A projekt sorszáma	03
A projekt címe:	Messzebbre, hosszabban, gyorsabban !	
A projekt produktuma:	Papírrepülőgépek. Videók a legjobb repülők repüléséről. Videó a papírlap-verseny nyertes technikájáról. Videó az optimális hajlásszögű Mikola-csőben mozgó buborékról.	
Projektleírás, a projekt célja, rövid tartalma, tevékenységei	Készítsetek papírrepülőket, melyeknek a lehető legmesszebbre (1.) illetve a lehető leghosszabb ideig (2.) kell repülni. A nyertes gépekről video-felvétel készítése. Adott magasságból ledobott A4-es papírlapot a lehető leghosszabb ideig kell a levegőben tartani (3.)! Fújd, legyezd, de vigyázz, hozzá ne érh! Mikola-cső optimális hajlásszögének megkeresése , amelynél a buborék leggyorsabban halad végig a csövön (4.). Az optimális mozgásról video-felvétel készítése.	
Számítógépes munkát nem igénylő feladat	<ul style="list-style-type: none">• Papírrepülőgépek hajtogatása• Papírlap-ejtési technika kidolgozása• Mérések a Mikola-csővel	
Számítógépes feladatok	Internetes keresés : - papírrepülő-tervrajzok és hajtogatás	
Javaslat a tanároknak	<ul style="list-style-type: none">– Érdemes legalább 4 fős csoportokban versenyezni és feladatonként a csoportokon belül felelőst megnevezni. Mikola-cső számtól és eszközöktől függően az egyes versenyekre 15-15 percet érdemes szánni.– Az alábbi felkészítés, a versenyszabályok megbeszélése közös, a projekt produktumának elkészítése (1.), (2.) házi feladat, a (4.) feladat szintén órai feladatnak javasolt.– Ami a papír-repülőgép hajtogatását illeti, érdemes egy egyszerűbb modellt közösen elkészíteni, majd utána könyv vagy internet segítségével bonyolultabb modellt keresni.– Az (1.) modellnél a légellenállás csökkentése és a repülési stabilitás növelése a cél.– A (2.) modellnél a nagy szárnyfelület és a vízszintes irányításra törekedjünk.– A (3.) versenynél rögzítsük az A4-es lap minőségét, az ejtési magasságot (legalább 2 méter az ajánlott, az igénybe vehető segédeszközöket (füzet mérete, hajszáritó, seprű, legyező ...) valamint a legyezést végző tanulók számát (max. 3).– A (4.) versenynél érdemes a JEGYZET utolsó megjegyzésének grafikonját tanulmányozni. Ajánlott, hogy az időtartamot a 10 és a 90 cm-es beosztás között mérjük.	
PROJEKT FELADAT / 06. FEJEZET		
Struktúra, leíró adatok	Évfolyam	9–10.
	Kerettantervi kapcsolódások	Globális környezeti problémák fizikai vonatkozásai. Hangtani jelenségek, A

		hang és a hangszerek világa. Hullámok, hullámjelenségek.
	Képességfókusz, ismeretfókusz	A megértettek integrálása a meglévő tudásba. Ellenőrzés, önellenőrzés. Fogalmak általánosításának, megértésének, kialakításának és használatának a képessége. Összefüggések felismerése. Visszafelé következtetés képessége
	Ajánlott időráfordítás	1 tanóra (+ 1 tanóra)
	Infrastrukturális és eszközigény	A « Ritmusdob » eszközigénye (lásd Jegyzet) A választott hangszerek eszközigénye. Internet, számítógép, mikrofon, Audacity, Projektor, digitális fényképezőgép vagy kamerás mobiltelefon.
	A projekt	11_05
A projekt címe:	Koncert házilag	
A projekt produktuma:	Házi készítésű hangszerek Bemutatók, képek, videók a hangszerek készítéséről. Koncert a saját készítésű hangszerekkel.	
Projektleírás, a projekt célja, rövid tartalma, tevékenységei	Készítsétek el a Jegyzet-ben leírt « Ritmusdob »-ot! 4-6 fős csoportokban készítsétek hangszereket úgy, hogy a többieknek be tudjátok mutatni az elkészítés lépéseit. Rögzítsétek és elemezzétek a hangszereket hangját az Audacity program segítségével! Az összes hangszert vonjátok be a projektet lezáró koncertbe!	
Számítógépes munkát nem igénylő feladat	<ul style="list-style-type: none"> • „Ritmusdob” elkészítése • választott hangszer elkészítése • kész hangszer megszólaltatása a koncerten 	
Számítógépes feladatok	Internetes keresés : <ul style="list-style-type: none"> - Hangszerválasztás : www.youtube.com - Hangszerek készítése házilag: http://palmai.midiworld.org/downloads/hazilag_elkeszitheto_hangszerek.pdf - Újrahasznosítás: http://zeneszerkesztes.blog.hu/2011/03/30/valodi_hangszerek_kezitesez_hazilag_ingyen_szemetbol_ujrahasznositva 	
Javaslat a tanároknak	<ul style="list-style-type: none"> – Ami a hangszereket illeti, érdemes egy egyszerűbb ütős- vagy ritmushangszert közösen elkészíteni, ehhez nyújt segítséget a Jegyzet. – Csak ezután érdemesebb könyv vagy internet segítségével egy bonyolultabban elkészíthető hangszert keresni. – Érdemes legalább 4 fős csoportokban dolgozni. Legyen felelőse a hangszerválasztásnak, a dokumentációnak és a koncertnek. – Néhány más ötlet hangszerre: palackokban különböző magasságú vízoszlopok / kihúzott búzelzáró cső forgatása / műanyag palackba kavics, bab, szentjánoskenyér / szívószálduda: http://www.youtube.com/watch?v=plBvuvev72Q/ – A kiválasztott hangszerek készítését a csoportok dokumentálják, az egyes munkafázisokról fényképeket vagy vázlatokat készítenek, majd ezek segítségével bemutatót. Lehetőség szerint rövid videó is segítse azt, hogy a hangszer készítése mások számára is érthető legyen. 	

	<ul style="list-style-type: none">– Az elkészült hangszerek bemutatása, hangjának elemzése szintén a projekt feladatai közé tartozik. Ehhez az ingyenesen letölthető Audacity program javasolt: http://audacity.joydownload.com/&c=118?gclid=CO-Kga_U4rsCFQlb3godxmUAmg– A szöveg feldolgozását és a feladat kitűzését, valamint egy hangszer elkészítését, hangjának rögzítését és elemzését órai feladatnak javasoljuk.– A csoportmunka, a bemutató elkészítése mind órai, mind otthoni feldolgozásra javasolható.– A rövid kompozíció megtervezése, előadása, rögzítése órai keretek között valósítható meg.	
PROJEKT FELADAT / 07. FEJEZET		
Struktúra, leíró adatok	Évfolyam	11.–12.
	Kerettantervi kapcsolódások	A fény természete Hogyan látunk, hogyan javítjuk a látásunk? Kommunikáció, kommunikációs eszközök, képzőművészet, képrögzítés a 21. században
	Képességfókusz, ismeretfókusz	A megértettek integrálása a meglévő tudásba. Ellenőrzés, önellenőrzés. Fogalmak általánosításának, megértésének, kialakításának és használatának a képessége. Összefüggések felismerése. Visszafelé következtetés képessége
	Ajánlott időráfordítás	1 tanóra (+ 1 óra a bemutatókra)
	Infrastrukturális és eszközigeny	Az optikai eszközök eszközigeny (lásd 02_Melléklet Jegyzetek 4 pontja) Internet, számítógép. Projektor, digitális fényképezőgép vagy kamerás mobiltelefon.
	A projekt sorszáma	12_03
A projekt címe:	Látsz engem ?	
A projekt produktuma:	Házi készítésű optikai eszközök. Bemutatók, képek, videók a periszkóp és a camera obscura készítéséről. Bemutató a (1) hagyományos- vagy a (2) digitális képrögzítés vagy a (3) filmkészítés alapjairól, annak történetéről! Választható még az (4) optikai csalódások és a (5) színeslátás, színes képrögzítés témakör is!	
Projektleírás, a projekt célja, rövid tartalma, tevékenységei	4-6 fős csoportokban készítsétek el a 02_Melléklet Jegyzetek 4 pontjában leírt villanymotorokat ! Készítsetek elkészítési útmutatót úgy, hogy a többieknek be tudjátok mutatni az elkészítés lépéseit. Készítsetek olyan tablót, amely segít megérteni a villanymotorod működését!	
Számítógépes munkát nem igénylő feladat	<ul style="list-style-type: none">• A periszkóphoz és a camera obscurához szükséges eszközök beszerzése• A periszkóphoz és a camera obscura elkészítése, működésének bemutatása	
Számítógépes feladatok	Internetes keresés : <ul style="list-style-type: none">- Hogyan működik a villanymotor ?- A választott témakör fizikai alapjait bemutató prezentációhoz	

	szükséges források keresése - A prezentáció elkészítése
Javaslat a tanároknak	<ul style="list-style-type: none"> – A szöveg feldolgozását, a feladat kitűzését órai feladatnak javasoljuk. – A periszkóp elkészítését és működésének megértését órai feladatnak javasoljuk. – A csoportok között osszuk el a megadott témákat: (1) hagyományos képrögzítés; (2) digitális képrögzítés; (3) a filmkészítés alapjai; (4) optikai csalódások és a (5) színes-látás, színes képrögzítés. – Érdemes legalább 4 fős csoportokban dolgozni és a csoportokon belül a legyen felelőse a dokumentációnak, az eszközkészítésnek valamint a választott téma kidolgozásának és bemutatásának. – Az optikai eszközök készítését a csoportok dokumentálják, azaz készítsenek az egyes munkafázisokról fényképeket majd ezek segítségével bemutatót. Lehetőség szerint rövid videó is segítse, hogy a optikai eszköz készítése mások számára is érthető legyen. – A csoportmunka, a bemutató elkészítése mind órai, mind otthoni feldolgozásra javasolható. – Csak ezután érdemes a másik két villanymotort elkészíteni. Több csoport is elkészítheti ugyanazt a villanymotort (elegendő eszköz esetén mindegyik csoport elkészítheti mindkettőt is). – Az elkészült villanymotorok bemutatása, működésének elemzése szintén a projekt feladatai közé tartozik.

PROJEKT FELADAT / 08. FEJEZET		
Struktúra, leíró adatok	Évfolyam	11.–12.
	Kerettantervi kapcsolódások	A fény természete Hogyan látunk, hogyan javítjuk a látásunk? Kommunikáció, kommunikációs eszközök, képalkotás, képrögzítés a 21. században
	Képességfókusz, ismeretfókusz	A megértettek integrálása a meglévő tudásba. Ellenőrzés, önellenőrzés. Fogalmak általánosításának, megértésének, kialakításának és használatának a képessége. Összefüggések felismerése. Visszafelé következtetés képessége
	Ajánlott időráfordítás	1 tanóra (+ 1 óra a bemutatókra)
	Infrastrukturális és eszközigény	Az optikai eszközök eszközigénye (lásd 02_Melléklet Jegyzetek 3. pontja) Internet, számítógép. Projektor, digitális fényképezőgép vagy kamerás mobiltelefon.
	A projekt sorszáma	12_03
A projekt címe:	Látsz engem ?	
A projekt produkuma:	<p>Házi készítésű optikai eszközök (lyukkamera és periszkóp). Bemutatók, képek, videók a periszkóp és a lyukkamera (camera obscura) készítéséről. Bemutató a (1) hagyományos- vagy a (2) digitális képrögzítés vagy a (3) filmkészítés alapjairól, annak történetéről! Választható még az (4) optikai csalódások és a (5) színeslátás, (6) színes képrögzítés témakör is!</p>	
Projektleírás, a projekt célja, rövid	<p>4-6 fős csoportokban készítsétek el a 02_Melléklet Jegyzetek 3. pontjában leírt optikai eszközöket!</p> <p>Készítsetek olyan tablót, amely segít megérteni az optikai eszköz működését!</p> <p>A megadott (1)-(6) témák közül válasszatok ki egyet és mutassátok azt be. Emeljétek ki az összefüggést valamelyik optikai eszközök működése és a</p>	

tartalma, tevékenységei	választott téma között!
Számítógépes munkát nem igénylő feladatok	<ul style="list-style-type: none"> • A periszkóphoz és a camera obscurához szükséges eszközök beszerzése (lásd 02_Melléklet Jegyzetek 3. pontja) • A periszkóphoz és a camera obscura elkészítése, működésének bemutatása
Számítógépes feladatok	Internetes keresés : <ul style="list-style-type: none"> - A választott témakör fizikai alapjait bemutató prezentációhoz szükséges források keresése - A prezentáció elkészítése
Javaslat a tanároknak	<ul style="list-style-type: none"> – A szöveg feldolgozását, a feladat kitűzését órai feladatnak javasoljuk. – A csoportok között osszuk el a megadott témákat: (1) hagyományos képrögzítés; (2) digitális képrögzítés; (3) a filmkészítés alapjai; (4) optikai csalódások és a (5) színes-látás, (6) színes képrögzítés. – Az (1), (2), (3) témákhoz a lyukkamera, a többihez a periszkóp elkészítését érdemes társítani (elegendő eszköz és idő esetén mindegyik csoport elkészítheti mindkettőt is). – Érdemes legalább 4 fős csoportokban dolgozni és a csoportokon belül a legyen felelőse a dokumentációnak, az eszközkészítésnek valamint a választott téma kidolgozásának és bemutatásának. – Az optikai eszközök készítését a csoportok dokumentálják, azaz készítsenek az egyes munkafázisokról fényképeket majd ezek segítségével bemutatót. Lehetőség szerint rövid videó is segítse, hogy a optikai eszköz készítése mások számára is érthető legyen. – A csoportmunka, a bemutató elkészítése mind órai, mind otthoni feldolgozásra javasolható. – Az optikai eszközök bemutatása, működésének elemzése és alkalmazásainak bemutatása szintén a projekt feladatai közé tartozik.

PROJEKT FELADAT / 10. FEJEZET		
Struktúra, leíró adatok	Évfolyam	11.–12.
	Kerettanternvi kapcsolódások	A Naprendszer fizikai viszonyai Az űrkutatás hatása mindennapjainkra
	Képességfókusz, ismeretfókusz	A megértettek integrálása a meglévő tudásba. Az ellenőrzés, önellenőrzés. Fogalmak általánosításának, megértésének, kialakításának és használatának a képessége. Összefüggések felismerése. Visszafelé következtetés képessége
	Ajánlott időráfordítás	1 tanóra (+ 1 óra a bemutatókra)
	Infrastrukturális és eszközigeny	Internet, számítógép. Projektor. Kellékek táblához : karton, filc, nyomtató, ragasztó.
	A projekt sorszáma	12_09
A projekt címe:	Irány a Mars !	
A produktum:	Bemutató készítése egy Föld-Mars-Föld emberes expedícióról	
Projektleírás, a projekt célja, rövid tartalma, tevékenységei	5-6 fős csoportokban egy Föld_Mars_Föld emberes űrutazás előkészítése! Tablót és/vagy bemutatók készítése, amely segít előkészíteni az expedíció egyes lépéseit! Az alább megadott témák közül csoportonként egyet kell kiválasztani és a	

	<p>többieknek bemutatni azt.</p> <p>(1) a misszió előkészítése: bázis a Marson;</p> <p>(2) az űrhajó pályájának megtervezése, az indulási időpont kiválasztása;</p> <p>(3) az utazás részletei: a Föld elhagyása, landolás a Marson, a helyszínek kiválasztása;</p> <p>(4) Mars-jármű tervezése (a Holdautó mintájára);</p> <p>(5) a visszatérés előkészítése.</p>
Számítógépes munkát nem igénylő feladatok	<ul style="list-style-type: none"> • Mars bázis tervezése (vázlatrajz esetleg makett) • a Mars-jármű tervezése (vázlatrajz) • a domborzati Mars –térképen a leszállóhely kijelölése • a Mars és a Föld pályájának megrajzolása, az űrhajó pályagörbéjének kijelölése
Számítógépes feladatok	<p>Internetes keresés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - A választott témakör fizikai alapjait bemutató prezentációhoz szükséges források keresése (például): Irány a Mars: http://www.origo.hu/tudomany/mars/index.html http://pcworld.hu/tudomany/mar-egy-varosnyi-ember-jelentkezett-arra-hogy-a-marson-haljon-meg.html http://hu.wikipedia.org/wiki/Emberes Mars-exped%C3%ADci%C3%B3 Landolás (Curiosity): http://www.youtube.com/watch?v=FrLTQj71Bq0 http://www.youtube.com/watch?v=oNviFQpRvwQ (magyar) Leszállóhely / Mars-térkép: http://planetologia.elte.hu/1cikkek.phtml?cim=planterkepek.html A Föld-Mars pálya tervezése: http://www.mant.hu/szakerto Mars bázis: http://planetologia.elte.hu/1cikkek.phtml?cim=mdrs-bazis.html Holdautó: http://www.hir24.hu/tudomany/2011/07/29/40-eve-indult-utnak-a-hold-auto/ Magyarok a Marson (robotok): http://magyarokamarson.hu/wordpress/ - A prezentáció elkészítése
Javaslat a tanároknak	<ul style="list-style-type: none"> – A misszió kitűzését, a paraméterek (hasznos teher/ létszám/ tartózkodási idő/ tudományos cél) meghatározását és az (1)-(5) csoportokba a beosztást órai feladatnak javasoljuk. – A csoportok között osszuk el a megadott témákat: (1) a misszió előkészítése: bázis a Marson; (2) az űrhajó pályájának megtervezése az indulási időpont kiválasztása; (3) az utazás részletei: a Föld elhagyása, landolás a Marson, a helyszínek kiválasztása; (4) Mars-jármű tervezése (a Holdautó mintájára); (5) a visszatérés előkészítése. – Érdemes legalább 5 fős csoportokban dolgozni és a csoportokon belül legyen felelőse a dokumentációnak, a vázlatok elkészítésének, valamint a választott téma bemutatásának, azaz a prezentáció elkészítésének. – A csoportok dokumentálják keresőmunkájukat (hivatkozások). Készítsenek képes/ térképes tablót vagy prezentációt, amelyen a többieknek bemutatják a misszió rájuk eső részét. – A csoportmunka, a bemutató elkészítése mind órai, mind otthoni feldolgozásra javasolható.

ADATLAP

a doktori értekezés nyilvánosságra hozatalához*

I. A doktori értekezés adatai

A szerző neve: Csernovszky Zoltán.....

MTMT-azonosító: 10051020.....

A doktori értekezés címe és alcíme: Analógiák a fizikatanításban.....

DOI-azonosító:.....

A doktori iskola neve: ELTE Fizika Doktori Iskola.....

A doktori iskolán belüli doktori program neve: Fizika Tanítása Program.....

A témavezető neve és tudományos fokozata: dr. Horváth Ákos, Ph.D.....

A témavezető munkahelye: ELTE TTK, Atomfizikai Tanszék.....

II. Nyilatkozatok

1. A doktori értekezés szerzőjeként

a) hozzájárulok, hogy a doktori fokozat megszerzését követően a doktori értekezésem és a tézisek nyilvánosságra kerüljenek az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban. Felhatalmazom a Természettudományi kar Dékáni Hivatal Doktori, Habilitációs és Nemzetközi Ügyek Csoportjának ügyintézőjét, hogy az értekezést és a téziseket feltöltse az ELTE Digitális Intézményi Tudástárba, és ennek során kitöltse a feltöltéshez szükséges nyilatkozatokat.

b) kérem, hogy a mellékelt kérelemben részletezett szabadalmi, illetőleg oltalmi bejelentés közzétételéig a doktori értekezést ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban;

c) kérem, hogy a nemzetbiztonsági okból minősített adatot tartalmazó doktori értekezést a minősítés (*dátum*)-ig tartó időtartama alatt ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban;

d) kérem, hogy a mű kiadására vonatkozó mellékelt kiadó szerződésre tekintettel a doktori értekezést a könyv megjelenéséig ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban, és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban csak a könyv bibliográfiai adatait tegyék közzé. Ha a könyv a fokozatszerzést követően egy évig nem jelenik meg, hozzájárulok, hogy a doktori értekezésem és a tézisek nyilvánosságra kerüljenek az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban.

2. A doktori értekezés szerzőjeként kijelentem, hogy

a) az ELTE Digitális Intézményi Tudástárba feltöltendő doktori értekezés és a tézisek saját eredeti, önálló szellemi munkám és legjobb tudomásom szerint nem sértem vele senki szerzői jogait;

b) a doktori értekezés és a tézisek nyomtatott változatai és az elektronikus adathordozón benyújtott tartalmak (szöveg és ábrák) mindenben megegyeznek.

3. A doktori értekezés szerzőjeként hozzájárulok a doktori értekezés és a tézisek szövegének plágiumkereső adatbázisba helyezéséhez és plágiumellenőrző vizsgálatok lefuttatásához.

Kelt: Budapest, 2018.09.25

.....

a doktori értekezés szerzőjének aláírása